



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Anglies nano priedų įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms

Baigiamasis magistro projektas

Titas Štreimikis

Projekto autorius

Prof. dr. Danutė Vaičiukynienė

Vadovė

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Anglies nano priedų įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6211EX008)

Titas Štreimikis

Projekto autorius

Prof. dr. Danutė Vaičiukynienė

Vadovė

Dr. Algirdas Augonis

Recenzentas

Kaunas, 2021



Kauno technologijos universitetas

Statybos ir architektūros fakultetas

Titas Štreimikis

Anglies nano priedų įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms

Akademinio sąžiningumo deklaracija

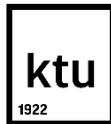
Patvirtinu, kad mano, Tito Štreimikio, baigiamasis projektas tema „Anglies nano priedų įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

Titas Štreimikis

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Studijų programa: 6211EX008 Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija

Baigiamojo projekto tema (lietuvių k.):

ANGLIES NANO PRIEDŲ ĮTAKA ŠARMU AKTYVUOTO ŠLAKO SAVYBĖMS.

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: 2020 m. lapkričio 30 d. Nr. V25-09-18.

(lietuvių k.):

ANGLIES NANO PRIEDŲ ĮTAKA ŠARMU AKTYVUOTO ŠLAKO SAVYBĖMS.

(anglų k.):

THE INFLUENCE OF CARBON NANO-ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF ALKALI
ACTIVATED SLAG

Pradiniai duomenys darbui (pagal poreikį):

--

Baigiamojo projekto dalys:

	Atlikti
Įvadas	x
Literatūros apžvalga	x
Metodologija	x
Eksperimentiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	x

Kita informacija (pagal poreikį), susitikimų su vadovu savaitės diena (-os) bei laikas:

--

Vadovas: Prof. Danutė Vaičiukynienė
(indėlis _____ %) pareigos, vardas, pavardė parašas

Konsultantas: _____
(indėlis _____ %) pareigos, vardas, pavardė parašas

Konsultantas: _____
(indėlis _____ %) pareigos, vardas, pavardė Parašas

Studentas: Titas Štreimikis
vardas, pavardė parašas

Štreimikis Titas. Anglies nano priedų įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. dr. Danutė Vaičiukyninė; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05)
Reikšminiai žodžiai: Anglies nano priedai, šarmu aktyvuoto šlako sistemos, šlakas, anglies miltelių priedas.

Kaunas, 2021. 57 p.

Santrauka

Naudojant šarmais aktyvuotas medžiagas, galima sumažinti išmetamo CO₂ kiekį, nes globalinio atšilimo potencialas sumažėja 40–70%, palyginti su įprasto portlandcemenčio (OPC) poveikiu. Taigi šarmu aktyvuoti rišikliai yra perspektyvi alternatyva įprastiems portlandcemenčio mišiniams. Tyrimams atlikti buvo pasitelkti SEM, XRD tyrimai ir nustatomos bandinių mechaninės savybės. Darbe buvo tirti anglies nanovamzdelių pūsto grafeno ir anglies miltelių priedų įtaka šarmu aktyvuoto šlako bandiniams. Nustatyta, kad žymiai didesni gniuždymo stipriai buvo gauti, kai nanovamzdeliai ultragarsu buvo disperguojami vandenyje palyginus su dispergavimu natrio šarme. Disperguojant ultragarsu šarmo tirpale nanovamzdeliai sušoko į gumulus ir nepasiskirstė tolygiai po cementinę tešlą ko pasėkoje buvo gautas mažesnis gniuždomasis stiprumas. Su anglies nanovamzdeliais buvo gauti neblogi rezultatai su didžiausiu naudojamu anglies nanovamzdelių kiekiu 0,25% ir juos disperguojant vandenyje stipris gniuždant buvo gautas 36.8 MPa. Bandinių su pūstu grafenu rezultatai buvo prasti gautas 41.8% mažesnis gniuždymo stipris lyginant su kontroliniu bandiniu. Geriausi rezultatai buvo gauti naudojant anglies miltelių priedą, kurie yra gaminami iš medienos atliekų ir yra žymiai pigesni, nei kiti šiame darbe naudojami priedai. Bandinių su anglies miltelių priedu gniuždymo stipris svyruoja tarp 35.1 MPa ir 39.5 MPa. Lyginant su kontroliniu mišiniu stipris gniuždant gaunamas 10% didesnis. Anglies milteliai nieko nekainuoja, nes jie yra biomasės terminio apdorojimo atliekos. Dėl šios priežasties biomasės pirolizės proceso metu gaunamų anglies miltelių panaudojimas gali būti naudingas naujoms ekologiškoms statybinėms medžiagoms.

Štreimikis Titas. The Influence of Carbon Nano-Additives on the Properties of Alkali Activated Slag. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Danutė Vaičiukyninė; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil Engineering (E05)

Keywords: Carbon nano additives, alkali activated slag systems, slag, biochar.

Kaunas, 2021. 57 p.

Summary

The use of alkali-activated materials can reduce CO₂ emissions by reducing global warming potential by 40-70% compared to conventional Portland cement (OPC). Thus, alkali-activated binders are a viable alternative to conventional Portland cement mixtures. SEM, XRD studies and mechanical properties of the samples were used for the research. The influence of carbon nanotube blown graphene and carbon powder additives on alkali activated slag samples was investigated. Significantly higher compressive strengths were found when nanotubes were ultrasonically dispersed in water compared to dispersion in sodium hydroxide. Upon ultrasonic dispersion in an alkaline solution, the nanotubes jumped into clumps and did not distribute evenly over the cement paste, resulting in lower compressive strength. With carbon nanotubes, good results were obtained with the highest used amount of carbon nanotubes 0.25%, and when they were dispersed in water, the compressive strength was 36.8 MPa. The results of the blown graphene samples were poor, resulting in a 41.8% lower compressive strength compared to the control. The best results were obtained using a carbon powder additive, which is made from wood waste and is significantly cheaper than other additives used in this work. The compressive strength of the samples with the addition of carbon powder varies between 35.1 MPa and 39.5 MPa. Compared to the control mixture, the compressive strength is 10% higher. Carbon powder costs nothing because it is a waste from the heat treatment of biomass. For this reason, the use of carbon powder from the biomass pyrolysis process can be beneficial for new environmentally friendly building materials.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	11
1. Šarmu aktyvuotos sistemos.....	12
2. Anglies nanovamzdelių (CNT) įtaka šarmu aktyvuotoms sistemoms	18
3. Smulkintos pirolizės būdu gautos anglies įtaka šarmu aktyvuotoms sistemoms	22
4. Grafeno įtaka šarmu aktyvuotoms sistemoms.....	27
5. Tyrimo metodai	29
5.1. Rentgeno difrakcinė analizė	29
5.2. Mikroskopinė analizė	30
5.3. XRF	30
5.4. Granulimetrinės sudėties nustatymas	30
6. Pradinės medžiagos	31
6.1. Aliumosilikatinis pirmtakas – granuluotas aukštakrosnių šlakas ir fosfogipsas	31
6.2. Natrio šarmo tirpalas	34
6.3. Anglies nanovamzdeliai	35
6.4. Pūstas grafenas.	37
6.5. Pirolizės būdu gautos anglies miltelių priedas	38
7. Anglies nanovamzdelių panaudojimas cementinėse sistemose.....	40
8. Tyrimo rezultatai.....	41
8.1. Disperguotų anglies nanovamzdelių įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms.....	41
8.2. Grafeno priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms	48
8.3. Anglies miltelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms	50
Išvados	52
Literatūros sąrašas	53

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Disperguoti vandenyje.....	41
2 lentelė. Disperguoti natrio šarme	41
3 lentelė. Disperguoti vandenyje.....	48
4 lentelė. Disperguoti vandenyje.....	50

Paveikslų sąrašas

1 pav. Šlako (a) ir fosfogipso (b) rentgeno spindulių difrakcijos grafikai. Pastabos: H – hidrotalcitas $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16}H_2O$ (14–191), Q - kvarcas SiO_2 (78–2315), CC - kalcitas $CaCO_3$ (72–1651), B - brušitas $CaPO_3 \cdot (OH) \cdot 2H_2O$ (11–293), C - basanitas $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$ (33–310).....	32
2 pav. Šlako (a) ir fosfogipso (b) dalelių dydžio pasiskirstymas	33
3 pav. Naudoto šlako makro vaizdas (a) ir mikrostruktūra (b)	34
4 pav. Natrio šarmo granulės maišomos su vandeniu, kad gauti natrio šarmo tirpalą.....	35
5 pav. Anglies nanovamzdelių tipai	35
6 pav. Anglies nanovamzdelių gamavimo metodas.....	36
7 pav. Vienasienių anglies nanovamzdelių mikrostruktūra	36
8 pav. Naudoti anglies nanovamzdeliai	37
9 pav. Naudoto pūsto grafeno nuotrauka	37
10 pav. Anglies miltelių mikrostruktūra naudojant skenuojančios mikroskopijos tyrimą	38
11 pav. Anglies miltelių mineralinė sudėtis naudojant rentgenografinį tyrimą.....	39
12 pav. Anglies elementinės sudėties tyrimas naudojant EDS tyrimą	39
13 pav. Anglies nanovamzdeliai vandenyje prieš dispergavimą ultragarsu	41
14 pav. Anglies nanovamzdeliai vandenyje po dispergavimą ultragarsu	42
15 pav. Anglies nanovamzdeliai natrio šarme prieš dispergavimą ultragarsu.....	42
16 pav. Anglies nanovamzdeliai natrio šarme po dispergavimą ultragarsu.....	43
17 pav. Gauti bandiniai.....	43
18 pav. Gniuždomi bandiniai	44
19 pav. Gniuždymo rezultatai bandinių su nanovamzdeliais po 7 parų ir po 28 parų.....	44
20 pav. Anglies nanovamzdelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako mineralinei sudėčiai (rentgenografinis tyrimas). Žymenys: CH – portlanditas $Ca(OH)_2$ (81-2040), CC – kalcitas $CaCO_3$ (72-1651), Q – kvarcas SiO_2 (78-2315), NS – natrio sulfatas Na_2SO_4 (74-1738), Z – kalcio aliuminio silikato hidratas $Ca_{5.57} Al_{12.3} Si_{12} O_{49.2} H_{2.34}$ (76-1507), K – kalcio silikato hidratas $Ca_{1.5} Si_{3.5} O_{3.5} \cdot xH_2O$ (33-306), H – hidrotalcitas $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16}H_2O$ (14–191).....	45
21 pav. Kontrolinio bandinio mikrostruktūra	46
22 pav. Anglies nanovamzdelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako mikrostruktūrai.....	47
23 pav. Anglies nanovamzdelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako tankiui.....	48
24 pav. Gniuždymo rezultatai bandinių su pūstu grafenu po 7 parų ir po 28 parų	49
25 pav. Gauti bandinių su pūstu grafenu tankiai.....	49
26 pav. Gniuždymo rezultatai bandinių su anglies miltelių priedu po 7 parų ir po 28 parų.....	50
27 pav. Gauti bandinių su anglies miltelių priedu tankiai.....	51

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

OPC – Įprastas portlandcementis

AAC – Šarminiu būdu aktyvuotas betonas

AAS – Šarmu aktyvuotos šlako sistemos

CNT – Anglies nanovamzdeliai

MWCNT – Daugiasieniai anglies nanovamzdeliai

FA – Lakieji pelenai

SEM – Skenuojanti elektroninė mikroskopija

XRD – Rentgeno difrakcinė analizė

XRF – Rentgeno fluorescencine spektroskopija

AAM – Šarmu aktyvuotos medžiagos

AAB – Šarmu aktyvuoti rišikliai

PCC – Portlandcemenčio betonas

PC – Portlandcementis

CC – Įprastas betonas

TGA – termogravimetrinė analizė

AASC – Šarminiu būdu aktyvuoto šlako cementas

Įvadas

Šarmu aktyvuoti rišikliai yra perspektyvi alternatyva įprastiems portlandcemenčio mišiniams. Įprasto portlandcemenčio (OPC) vartojimas per pastaruosius dvidešimt metų išaugo beveik eksponentiškai. OPC tapo daugiausiai pagamintų gaminių planetoje. OPC gamyboje naudojama daug energijos, sunaudojami neatsinaujinantys gamtos išteklių ir tai yra vienas iš svarbiausių globalinio atšilimo veiksnių (išmetama mažiausiai 5–8% viso pasaulyje išmetamo antropogeninio CO₂). Alternatyva OPC betonui yra šarminiu būdu aktyvuotas betonas (AAC), kuriame portlandcementis yra visiškai pakeistas alternatyviu rišikliu.

Tikslas

Ištirti anglies nanovamzdelių, grafeno ir anglies miltelių priedo įtaką šarmu aktyvuoto šlako sukietėjusioms tešloms

Uždaviniai:

1. Atlikti naujausių mokslinių straipsnių apžvalgą susijusią su šarmu aktyvuotais rišikliais ir anglies nanovamzdelių panaudojimu šiose medžiagose.
2. Parinkti tinkamą tyrimų metodiką kuri leistų nustatyti medžiagų cheminę ir mineralinę sudėtį, mikrostruktūrą ir fizikines, bei mechanines savybes.
3. Ištirti pradines medžiagas: anglies nanovamzdeliai, išpūstas grafenas, anglies milteliai, šlakas ir fosfogipsas.
4. Atlikti eksperimentinius tyrimus susijusius su šarmu aktyvuotomis tešlomis naudojant trijų rūšių anglies priedus: anglies nanovamzdeliai (Technistro), išpūstas grafenas ir anglies miltelių priedą.
 - 4.1 Nustatyti stiprį gniuždant ir tankį.
 - 4.2 Įvertinti mineralinę bandinių sudėtį (XRD)
 - 4.3 Analizuoti mikrostruktūrą (SEM)
 - 4.4 Įvertinti hidratacijos temperatūrą naudojant mikrokolorimetrijos tyrimą.
 - 4.5 Palyginti gautus rezultatus ir suformuluoti išvadas.

1. Šarmu aktyvuotos sistemos

Įprasto portlandcemenčio (OPC) naudojimas per pastaruosius dvidešimt metų išaugo beveik eksponentiškai. OPC tapo daugiausiai pagamintų gaminių planetoje. OPC gamyboje naudojama daug energijos, sunaudojami neatsinaujinantys gamtos ištekliai ir tai yra vienas iš svarbiausių globalinio atšilimo veiksnių (išmetama mažiausiai 5–8% viso pasaulyje išmetamo antropogeninio CO₂). Alternatyva OPC betonui yra šarminiu būdu aktyvuotas betonas (AAC), kuriam Portlando cementas yra visiškai pakeistas alternatyviu rišikliu. Užuoat naudojus OPC ir vandenį, pirmtakai (žaliavos), tokie kaip aukštakrosnių šlakas (BFS) ar lakieji pelenai (FA), aktyvuojami šarminiu aktyvatoriaus tirpalu. Nors AAC atrodo, kad jis turi perspektyvių konstrukcinio taikymo savybių tvarumo požiūriu, visame pasaulyje naudojamas dar nenustatytas. Viena iš to priežasčių yra tai, kad nėra galiojančių normų ar kodeksų, kaip ją taikyti, medžiaga yra palyginti nauja ir atlikta nedaug tyrimų. OPC betono projektavimo kodai yra grindžiami atsparumu gniuždymui po 28 dienų (vėlesniame amžiuje stipris išlieka arba pastovus, arba didesnis), o dabar kitos skaičiavimuose naudojamos mechaninės savybės yra įvertintos remiantis šia gniuždomąja jėga. AAC dar nežinoma, ar galioja tie patys santykiai ir prielaidos, kaip ir OPC. Pirmiausia todėl, kad mechaninės AAC savybės, apie kurias pranešta AAC literatūroje, labai skiriasi, priklausomai nuo mišinio sudėties ir kietėjimo sąlygų. Antra, AAC ilgalaikio stiprio kitimas yra mažai ištirtas ir neaišku, ar gniuždomasis stipris po 28 dienų gali būti naudojamas kaip saugus orientyras projektuojant.

Ultragarsinis cemento analizatorius (UCA) naudojamas kaip pagalba kuriant naujas cemento formules arba atliekant esamų formuliu kokybės vertinimą prieš pradėdant naudoti vietoje. Neardomuoju UCA metodu stebimas cemento stiprio kitimas, matuojant laiką, reikalingą ultragarso bangoms judėti per cemento bandinį, ir numatant stiprumą naudojant empirines koreliacijas, kurios buvo sukurtos įprastiems portlandcemenčio mišiniam. Deja, šių empirinių koreliacijų negalima naudoti norint tiksliai numatyti lakiųjų pelenų šarminėse aktyvuotose medžiagose (AAM), kurios yra perspektyvi alternatyva įprastiems portlandcemenčio mišiniam naftos gręžinių cementavimui, stiprumo kitimą. Todėl šiame tyrime buvo sukurta nauja empirinė koreliacija, susiejanti tranzito laiką, t. y. laiką, reikalingą ultragarso bangoms nukeliauti per cemento bandinį pagamintą lakiųjų pelenų pagrindu su gniuždomuoju stiprumu. [1].

Šis tyrimas pasiūlė porizuoti šarmais aktyvuotus lakiųjų pelenų (AA-lakiųjų pelenų) kompozitus, naudojant paprastą CO₂ surinkimo metodą. Medžiagų poroms gaminti buvo naudojami dviejų tipų putojimo agentai, tai yra, cinko stearatas / H₂O₂ ir Al milteliai. Rezultatai atskleidė, kad gali būti gaminamas porėtas AA-lakiųjų pelenų kompozitas, kurio tankis yra 1 g / cm³. Naudojant Al miltelius, šiuo metodu buvo gauta porėta AA-lakiųjų pelenų tešla, kurios paviršiaus plotas 36 m² / g, vertės buvo didesnės nei cinko stearato / H₂O₂. AA-lakiųjų pelenų kompozicija buvo susmulkinta ir panaudota kaip CO₂ dujų absorbentas. Sugerties koeficientas buvo 0,12 g CO₂ vienam gramui akytojo AA-lakiųjų pelenų kompozito, o tai rodo, kad porėtą AA-lakiųjų pelenų kompozitą galima naudoti kaip kietą absorbentą. Be to, gamybos procesas yra paprastas ir ekonomišką. [2].

Šarminis aktyvatorius daro didelę įtaką lakiųjų pelenų šarmais aktyvuotų produktų mikrostruktūrai ir mechaninėms savybėms. Straipsnyje siekiama nustatyti lakiųjų pelenų (FA) reakcijos produktus, aktyvuotus skirtingos koncentracijos Na₂O ir SiO₂ / Na₂O šarminiais aktyvatoriais. NaOH tirpalas (NA), NaOH ir natrio silikato tirpalo (MIX) ir natrio silikato tirpalas (LG) mišinys buvo naudojami suaktyvinti lakiuosius pelenus. Aktyvuotų lakiųjų pelenų reakcijos produktams apibūdinti buvo naudojami skirtingi metodai, įskaitant rentgeno spindulių difrakciją (XRD) su Rietveldo priedais.

Rezultatai atskleidė, kad pagrindinis lakiųjų pelenų aktyvinimo šarmais reakcijos produktas yra natrio aliumosilikato gelis (geopolimeras), turintis didelį Si / Al santykį, kai natrio silikatas buvo naudojamas kaip šarminis aktyvatorius, o ceolitas pasirodė kaip mažumos fazė, kai lakieji pelenai buvo aktyvuoti NaOH arba NaOH ir natrio silikato tirpalo mišiniu. [3].

Šiame darbe tiriamas kietųjų komunalinių atliekų deginimo krosnies lakiųjų pelenų (MFA) panaudojimas kaip šarminiu būdu aktyvuoto šlako (AAS) cemento pakaitalas. Buvo tiriamos ir optimizuotos tešlos su skirtingomis MFA dozėmis mechaninės savybės. Palyginti su AAS, į kurią nebuvo pridėta MFA, 3 d (parų) paruoštų AAS tešlų gniuždomasis stipris, smarkiai sumažėjo nuo 71,11 iki 48,25 MPa, pridėdant daugiau MFA. Kai pakaitinė dalis padidėjo iki 30%, AAS sukietėjusios cemento tešlos vis tiek pasiekė aukštą gniuždomąjį stiprį - 64,37 MPa per 28 d. Siekiant ištirti tešlų hidratacijos produktus ir mikrostruktūrą, buvo atlikta XRD ir SEM analizė. Pagrindiniai AAS tešlos hidratacijos produktai su 30% MFA pridėjimu buvo kalcio silikato hidrato (C-S-H) gelis ir C-A-S-H (C-CaO; A-Al₂O₃; S-SiO₂; H-H₂O) gelis. Kai kurias nesureagavusias MFA daleles taip pat buvo galima pastebėti atliekant SEM analizę. Šis tyrimas pateikia naują MFP išteklių naudojimo būdą. [4].

Šarminiu būdu aktyvuojami rišikliai, palyginti su portlandcemenčiu, labiau linkę trauktis džiūvimo metu. Buvo atliktas eksperimentinis tyrimas, siekiant įvertinti bazinio šarmais aktyvuoto rišiklio džiūvimo susitraukimą, palyginti su portlandcemenčiu, ir įvertinti įvairių priedų efektyvumą mažinant šarmu aktyvuoto rišiklio džiūvimo susitraukimus. Rezultatai parodė, kad bazinio šarmais aktyvuoto rišiklio džiūvimo susitraukimas buvo maždaug dvigubai mažesnis nei I tipo portlandcemenčio. Buvo nustatyta, kad kai kurie priedai, naudojami šarmu aktyvuoto rišiklio mišiniui patobulinti, sumažina šarmu aktyvuoto rišiklio džiūvimo susitraukimą iki tokio lygio, kuris yra panašus į portlandcemenčio. Buvo pateikti paaiškinimai apie mechanizmus, kuriais šie priedai padidina šarmu aktyvuoto rišiklio matmenis. Norint gauti daugiau žinių apie įvairių priedų, veikiančių šarmuose aktyvuotuose rišikliuose, veikimo mechanizmus, buvo naudojami SEM, TG / DTG ir hidratacijos metodai. [5].

Tolesniame tyrime buvo tiriamos plieno ir makro-PP pluoštu armuotų betonų, surištų šarmais aktyvuotu šlaku (AAS), šarmu aktyvuotais lakiais pelenais (AAFA) ir įprastu portlandcemenčiu (OPC), mechaninės savybės. Įvairių pluoštinių medžiagų (makro-PP pluoštų ir plieno pluoštų mišinių) ir turinio (0, 0,3 ir 0,6 tūrio proc.) įtaka gniuždomajam, skilimo tempimui ir lenkiamajam tempiamajam įtempiui buvo ištirta 28 parų bandiniai. Gautos apkrovos deformacijos kreivės ir būdingas elgesys po įtrūkimo (pagal EN 14651) buvo išaiškintos atlikus papildomą ryšių elgsenos analizę atliekant kompiuterinę rentgeno tomografiją (μXCT) ir skenuojančią elektroninę mikroskopiją (SEM). [6].

Šis darbas sutelktas į naudingą mažai reaktyvių lakiųjų pelenų panaudojimą aplinkos temperatūroje į šarmais suaktyvintą rišiklį pridėdant kitų pramoninių atliekų silicio mangano (SiMn) šlaką. Granuliuoto SiMn šlako (GSS) procentas buvo palaiptai didinamas į etaloninę partiją su lakiųjų pelenų pagrindu. Šlako įtaka mišinių reaktyvumui buvo stebima izoterminio laidumo kalorimetrija. Reaktyvumas pagerėjo didėjant šlako kiekiui. Gauti rišiklio struktūriniai pertvarkymai buvo nustatyti smailės poslinkio metu Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių spektroskopijos tyrime. Atliekant rentgeno spindulių difrakcijos analizę, difrakcinio maksimumo padėtis pasikeitė dėl rišiklio struktūros pertvarkymo. Įterpus šlaką padidėjo kalcio turinčio hidrato produkto susidarymas. Lakiųjų pelenų geopolimero gelis (N – A – S – H) buvo kartu su šlake aktyvuotu geliu (C – S – H / C – A –

S – H) (kur N = Na₂O, A = Al₂O₃, C = CaO, S = SiO₂ ir H = H₂O) mišinio matricioje. EDX analizė patvirtino rišiklio Si / Al, Ca / Si ir Na / Al santykio pokyčius keičiant reakcijos produktus. Geresnio šlako rišiklio gniuždymo stiprumo sukūrimas, susijęs su Ca turinčių gelio fazių formavimu. [7].

Tiriami šarmu aktyvuoti rišikliai (AAB), kaip jie gali būti naudojami kaip portlandcemenčio betono (PCC) remonto medžiagos. PCC ir remonto medžiagų adhezijos apibūdinimas naudojant AAB, pagamintus iš lakiųjų pelenų (FA) ir portlandcemenčio (PC), aktyvuotų natrio hidroksido ir natrio silikato tirpalais, AAB, pagamintą iš FA, ir kalcio hidroksido (CH), aktyvuoto natrio hidroksido ir natrio silikato tirpalais ir komercinės remonto medžiagos (RM) buvo ištirtos. Bandymų rezultatai rodo, kad AAB su priedais suteikia aukštą jungties stiprumą, panašų į RM naudojimą. Ryšio stiprumas tarp PCC substrato ir AAB su priedais pagerėja dėl padidėjusių reakcijos produktų, ypač kalcio – silikato – hidrato gelio. Tačiau CH pakeitimas 15% rodo didelį kalcio kiekį, dėl kurio sumažėja jungties stipris. Ištirtų bandinių gedimų modeliai ir lūžių sąsajos vaizdai taip pat parodo išvystytos jungties stiprumą. Parodyta, kad PCC substrato ir AAB sąsajos zona yra vienalytė, be matomų tarpų tarp dviejų rišamųjų paviršių. Siūloma, kad AAB, turintis PC kaip priedą, galėtų būti naudojamas kaip taisomoji rišamoji medžiaga, kuri ne tik pasižymi dideliu tvirtumu, bet ir yra ekonomiška. [8].

Buvo tiriamas trijų rūšių maltų granuliuotų aukštakrosnių šlakų (GGBFS) cheminės sudėties poveikis įvairioms betono savybėms. Tiriamieji buvo aktyvuoti šarmais, skystu natrio silikatu (SS) ir natrio karbonatu (SC). Buvo tiriamas tekėjimas, rišimosi trukmė, gniuždomasis stipris, pūtimas, atsparumas karbonizacijai ir susitraukimas. Sukietėjusių matricių cheminė sudėtis ir mikrostruktūra buvo tiriama rentgeno spindulių difrakcija (XRD), termogravimetrine analize (TGA) ir skenavimo elektronų mikroskopija (SEM) kartu su EDX analizatoriumi. Rezultatai parodė, kad šlakų dalelių dydžio pasiskirstymas ir aktyvatoriaus tipas turėjo žymiai stipresnį poveikį visoms išmatuotoms savybėms nei jų cheminė sudėtis. Aukščiausios gniuždomojo stiprio vertės buvo gautos iš geriausio šlako, kurio MgO kiekis taip pat yra mažiausias. SC aktyvuotas skiedinys pagamino beveik tas pačias gniuždomojo stiprio vertes, nepriklausomai nuo naudojamo šlako. Mažiausias atsparumas karbonizacijai susidaro skiediniuose, kurių pagrindą sudaro šlakas, kuriame yra 12% MgO ir kuris yra mažiausio smulkumo. Šlakas, turintis didžiausią savitąją paviršiaus plotą ir mažiausią MgO kiekį, sukūrė homogeninę mikrostruktūrą, aukščiausią reakcijos temperatūrą ir mažiausią džiūvimo susitraukimą. Termogravimetrinė analizė parodė C-(A)-S-H, hidrotalcito HT ir karbonato fazių buvimą visuose tirtuose skiediniuose. [9].

Šis tyrimas buvo nukreiptas į termiškai stabilių medžiagų, pagrįstų šlako, lakiųjų pelenų ir metakaolino aktyvinimu šarminiu būdu, palyginimą su portlandcemenčio mišiniais, naudojant hierarchinį požiūrį į medžiagų projektavimą. Rentgeno spindulių difrakcija (XRD) apibūdino mineralogiją, susijusią su didesnio ilgio bandymais, naudojant termogravimetrinę analizę (TGA) medžiagų šiluminiam stabilumui nustatyti. Be to, atliekant didelės energijos rentgeno spinduliuotės kompiuterinę mikrotomografiją (μCT), buvo nustatyta, kad medžiagos veiksmingumas yra geriausias, o tai sumažina šiluminę žalą esant aukštai temperatūrai (650 °C). Šiluminė apkrova padidėjo iki 650 °C nuo aplinkos temperatūros per 60 s, po to palaikoma iš viso 10 min. MCT nustatė, kad šarmu aktyvuotas lakiųjų pelenų skiedinys turėjo mažesnę pradinę poringumą nei įprasti portlandcemenčio mišiniai - daugiau nei 66% porų buvo nuo 20 iki 50 μm skersmens. Taigi šarmu aktyvuotas lakiųjų pelenų skiedinys vos 50 mm storio medžiagoje sugebėjo išsklaidyti maždaug 565 °C, aplenkdamas visus kitus šiame darbe tiriamus mišinius su μCT, patvirtindamas minimalų pažeidimą po temperatūros poveikio. [10].

Šešiasdešimt procentų esamų JAV tiltų buvo statomi naudojant įprastą betoną (CC), t. y. įprastą portlandcemenčio (OPC) pagrindu pagamintą betoną. Dėl senėjimo ir standartų pokyčių daugeliui šių tiltų reikalingas konstrukcijų remontas. Norint sukurti inžineriškai pagrįstą remontą, reikia ištirti remonto medžiagos ir esamos konstrukcijos jungties stiprumą. Šis tyrimas ištyrė jungties stiprį tarp CC ir šarminiu būdu aktyvuoto betono (AAC), kaip remonto medžiagos, naudojant pasvirosios šlyties ir atplėšimo bandymus. AAC buvo susintetinti naudojant penkis skirtingus C klasės pelenus, turinčius skirtingą cheminę sudėtį ir fizikines savybes. AAC buvo kietinamas aukštesnėje nei 158 °F temperatūroje 24 valandas. Pataisytos konstrukcijos eksploataavimo metu jungties sąsajos paviršius patiria įvairių tipų įtempius. Todėl, siekiant įvertinti jungties stiprumą tarp CC ir AAC jungiamųjų paviršių, buvo atlikti nuožulniosios šlyties ir atplėšimo testai. Dėl nuožulniosios šlyties buvo ištirti trys kampai 45°, 33,75° ir 22,5°. Atliekant bandymą, buvo ištirta rišiklio ir smėliasrovės įtaka bandymui. Pasvirosios šlyties rezultatai parodė, kad AAC taisymo sukibimo koeficientas ir vidinis trinties kampas buvo atitinkamai nuo 4,96 iki 6,94 psi ir nuo 24° iki 35°. Be to, nors paviršiaus apdorojimas smėliasrove pagerino jungties stiprumą, rišiklis to nepadarė. [11].

Buvo palygintas atsparumo korozijai mechanizmo skirtumas tarp šarminiu būdu aktyvuoto betono (AAC) ir paprastojo portlandcemenčio betono (OPC) atliekant biogeninę sieros rūgšties koroziją. Išmatavus OPC ir AAC bandinių vietinę paviršiaus morfologiją, masės nuostolius, gniuždomąjį stiprį ir Ca²⁺ tirpimą, buvo tiriamas šių dviejų rūšių betono atsparumas korozijai biogeninei sieros rūgščiai (BSA). OPC ir AAC hidratacijos produktai ir korozijos produktai buvo tiriami rentgeno spindulių difrakcija (XRD), Furjė transformacijos infraraudonųjų spindulių spektroskopija (FT-IR) ir aplinkos skenavimo elektronų mikroskopijos - energijos dispersine spektroskopija (ESEM-EDS). Rezultatai rodo, kad esant BSA korozijai, OPC korozijos sluoksnio storis, šiurkštumas ir akytumas yra akivaizdžiai didesni nei AAC. Pagrindiniai OPC ir AAC korozijos produktai yra gipsas. OPC korozijos sluoksnio paviršiuje gaminamo gipso kiekis yra didesnis nei AAC. Be to, bakterijų poveikis AAC korozijos sluoksnio paviršiui yra mažesnis nei OPC, todėl BSA korozijos kelias yra ilgesnis nei OPC. Todėl AAC atsparumas korozijai BSA yra geresnis nei OPC. [12].

Šis tyrimas parodo paprastojo portlandcemenčio (OPC) ir (arba) skystojo stiklo papildymo įtaką lakiųjų pelenų šarminiu būdu aktyvuotu skiediniu ir betonui. Rezultatai rodo, kad lakiųjų pelenų (FA) betonas, aktyvuotas NaOH tirpalu ir skystojo stiklo mišiniu, turėjo geresnį atsparumą užšalimui ir atšildymui, karbonizavimui, šarminio silicio dioksido reakcijai (ASR) ir pasižymėjo didesniu atsparumu gniuždymui ir statiniu tamprumo moduliui, palyginti su FA betonu, aktyvinamas tik NaOH tirpalu. OPC pridėjimas prisideda prie tankesnio šarminio aktyvuoto betono (AAC) mėginių mikrostruktūros kūrimo. Esant skystajam stiklui ir OPC, mėginių gniuždymo stipris (52,60 MPa) padidėjo daugiau nei du kartus, palyginti su etaloniniu pavyzdžiu (21,36 MPa) be OPC ir skystojo stiklo. OPC ir skystojo stiklo derinys parodė padidintą AAC stiprumą ir padidintą patvarumą. Mėginiai buvo atsparesni užšalimui ir atšilimui, ASR ir karbonizacijai. [13].

Maišant chemiškai apdorotas betono atliekas su šlakais, buvo įgyvendinta šarminiu būdu aktyvuoto cemento (AAC) dalis. Apdorojimo procesas buvo atliktas pridendant NaOH į betono atliekas (CoW), kai NaOH santykis buvo 0,2, 0,1 ir 0,05 (t.y. atitinkamai CTC-1, CTC-2 ir CTC-3), o po to - sumaišymas su vandeniu ir džiovinimas. Sukietėjusi medžiaga buvo sumalama, po to sausai sumaišoma su šlakais, kad būtų sukurti vientisų AAC miltelių fiksuoto dydžio dalelės. CTC kiekis buvo keičiamas, kad visuose mišiniuose būtų pastovus Na₂O kiekis (2% masės). Rezultatai parodė, kad paruošti vienos dalies AAC gali reaguoti su vandeniu, kad gautų sukietėjusias medžiagas, turinčias tam tikrą gniuždymo stiprį. Palyginti su CTC-1 ir CTC-3, buvo nustatyta, kad CTC-2 daro

didžiausią įtaką šlakų hidratacijos suaktyvinimui, kuris susijęs su geresnėmis mechaninėmis savybėmis, mažesniu porų tūriu ir džiovinimo susitraukimu. Pridėjus švino turinčio dumblo (LBS) į vienos dalies AAC, turinčio CTC-2, buvo daromas teigiamas poveikis paruošto cemento eksploatacinėms savybėms. Pagal toksiškumui būdingas išplovimo procedūras paruoštas cementas parodė galimą poveikį Pb turinčio dumblo sukietėjimui / stabilizavimui. [14].

Kalcio oksidas (CaO) ir natrio karbonatas (Na₂CO₃) yra potencialūs žemės granuliuto aukštakrosnių šlako aktyvatoriai, tačiau jie lėtai vystosi stiprumui, ypač ankstyvame kietėjimo periode. Siekiant išspręsti šią problemą ir ištirti CaO / Na₂CO₃ junginių aktyvatorių pritaikymą šarminiu būdu aktyvuotų šlakų (AAS) sistemose, šiame darbe ištirtos CaO / Na₂CO₃ aktyvuotų šlako rišiklių mechaninės ir hidratacijos savybės, matuojant gniuždomąjį stiprį, porų pH vertę, tirpalo ir neišgarinamo vandens kiekį iki 28 dienų. Sukietėjusių tešlų hidratacijos produktai ir mikrostruktūra buvo analizuojami rentgeno spindulių difrakcija (XRD), termogravimetrine analize (TGA) ir skenavimo elektronų mikroskopijos metodais. Buvo nustatyta, kad CaO ir Na₂CO₃ santykis vaidino gyvybiškai svarbų vaidmenį atliekant AAS rišiklius. Derinant 2,5% CaO ir 5% Na₂CO₃, žymiai padidėjo hidratacijos produktų kiekis ir taip susidarė daug tankesnė mikrostruktūra ir didesnis gniuždymo stipris. Šis padidėjimas buvo susijęs su natrio hidrato ir mažai kristalinio kalcio karbonato susidarymu CaO reakcijai su Na₂CO₃, kuris buvo naudingas hidratacijos produktams susidaryti. XRD ir TGA rezultatai parodė, kad pagrindiniai hidratacijos produktai buvo kalcio silikato hidrato geliai ir į hidrotalcitą panašios fazės visiems mėginiams, išskyrus tą, kuriame buvo tik Na₂CO₃. Be to, mėginiuose buvo rasta mažai kristalinio kalcio karbonato, tiek CaO, tiek Na₂CO₃. [15].

Šiame darbe buvo susintetinti cementiniai rišikliai, kurių sudėtyje nėra klinkerio, kad būtų gaunamas kietas aplinkos temperatūros betonai, pasižymintis dideliu užpildų ir rišamųjų medžiagų santykiu. Rišikliai yra šarmu aktyvuotas šlakas, metakaolino geopolimeras ir metakaolino-šlako geopolimeras. Buvo tiriamas užpildo dydžio ir rišiklio tipo poveikis susidarančio pralaidžiojo betono fizinėms savybėms, atsižvelgiant į gniuždomąjį stiprį, tankį, bendrą akytumą ir vandens pralaidumą. Rišančių medžiagų reakcijos produktai buvo išmatuoti naudojant rentgeno spindulių difrakciją (XRD), kad būtų ištirti reakcijos mechanizmai. Šiame darbe gaminami pralaidūs betonai yra ne tik ekologiški, bet ir pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis ir vandens pralaidumu nei cementui nelaidūs betonai. [16].

Tvari statybų sektoriaus plėtra yra svarbus visuomenės, pramonės ir vyriausybės rūpestis. Vienas iš būdų sumažinti ekologinį pėdsaką yra naudoti statybines medžiagas, kurios sunaudoja mažiau energijos ir mažiau išmeta CO₂. Šiame tyrime buvo susintetintas cementinis rišiklis, kurio sudėtyje nėra klinkerio, aktyvinant šlifuoatą granuliuto aukštakrosnės šlaką. Išmatuotas gauto šarmu aktyvuoto šlako (AAS) lenkimo ir gniuždymo stipris ir palygintas su įprastu portlandcemenčiu (OPC). Acheno poliravimo mašina (APM) su tikromis transporto priemonių padangomis ir Didžiosios Britanijos švytuoklės testeris buvo pritaikytas įvertinti AAS ir OPC atsparumą slydimui po poliravimo. Reakcijos produktai buvo užfiksuoti naudojant rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) metodą, kad būtų ištirtas reakcijos mechanizmas. Be to, siekiant įvertinti jos poveikį aplinkai, buvo apskaičiuotas lygiavertis AAS produkcijos išmetamas CO₂ kiekis. Rezultatai rodo, kad po poliravimo slydimo AAS yra panašus į OPC, tačiau didesnis lenkimo stiprumas ir mažesnis ekvivalentinis CO₂ išmetimas. Visa tai rodo, kad AAS gali būti naudojamas kaip ekologiškas alternatyvus rišiklis betoninių dangų tiesimui. [18].

Straipsnyje pateikiami aktyvatoriaus tipo, rišiklio kiekio ir natrio dozės įtakos šarmu aktyvuotame šlake (AAS) betono hidratacijos tyrimams rezultatai. Šlakui suaktyvinti buvo naudojamos natrio hidroksido (NaOH) granulės ir NaOH + skysto natrio silikato (Na_2SiO_3) mišinys esant trimis natrio koncentracijoms - 4%, 6% ir 8% šlako masės. Laboratoriniams tyrimams buvo paruoštas dvidešimt vienas skirtingas mišinys. Trijuose pamatiniuose mišiniuose OPC buvo naudojamas kaip rišiklis, o kituose AAS mišiniuose - granuliuotas aukštakrosnių šlakas (GBFS). Rišiklio dozės buvo 300, 350 ir 400 kg / m³, o mišiniuose naudojamas vandens rišiklio (m / m) santykis buvo 0,50. Išmatuotas pagamintų betonų gniuždymo stipris ir hidratacijos temperatūra. Temperatūros pokytis, matuojamas kas 15 minučių iki 120 valandų. Tyrimo rezultatai parodė, kad mišinių gniuždymo stipris ir hidratacijos temperatūra padidėjo priklausomai nuo rišiklio kiekio padidėjimo ir natrio dozės. NaOH + Na_2SiO_3 mišinio naudojimas kaip aktyvatorius padidino gniuždymo stiprį, bet sumažino mišinių hidratacijos temperatūrą. Visų AAS mišinių hidratacijos temperatūra buvo žemesnė nei OPC mišinių. Gaminamas AAS betonas, kurio hidratacijos temperatūra yra žema, gali būti alternatyva perdirbtoms statybinėms medžiagoms, kai naudojamas betonas. [19].

2. Anglies nanovamzdelių (CNT) įtaka šarmu aktyvuotoms sistemoms

- Anglies nanovamzdeliai (CNT) geriausiai apibūdinami kaip besiūlis cilindrinis tuščiaviduris pluoštas, susidedantis iš vieno gryno grafito lakšto, kurio skersmuo yra nuo 0,7 iki 50 nanometrų, o ilgis paprastai yra 10 mikronų.
- Anglies nanovamzdeliai (CNT) yra mikroskopinės molekulės, turinčios ryšius, kurie yra tokie stiprūs, atsižvelgiant į jų dydį, kad yra naudojami nanotechnologijose.
- 1952 m. CNT koncepcija buvo paskelbta Rusijos žurnale. Bet buvo nepastebėtas, nes straipsnis buvo išspausdintas rusų kalba.
- 1991 m. NEC susistemino pirmąjį CNT Japonijos tyrinėtojas Sumio Ijima.
- Nepaisant visų tyrimų, mokslininkai vis dar tiksliai nesupranta, kaip jie veikia.

Atliktas eksperimentinis šarminiu būdu aktyvuoto šlako cemento (AASC) rišiklių mikromechaninių savybių tyrimas naudojant tikslinę ir tinklelio nanoindentaciją. Tinklelio įtraukimo metodų rezultatai buvo dekonvoliuoti naudojant Gausso mišinio modeliavimą su Bajeso modelio parinkimu, kad būtų nustatytas tinkamas modelio komponentų fazių skaičius. Gautų mišinių modelių ir tikslinių įtraukimo bandymų metu gauta informacija buvo paskleista atsižvelgiant į esamą informaciją apie AASC rišiklių mikrostruktūros sudėtį ir raidą. Tiriant mikroskopu natrio silikatu aktyvuoto šlako cemento mikrostruktūroje yra tik du komponentai (aliumosilikatinis gelis ir nesuragavę šlako dalelės), tačiau įbrėžimų duomenys rodo, kad jis yra daug sudėtingesnis ir įvairesnis. Natrio hidroksidu aktyvuoto šlako cemento mikrostruktūroje yra aliumosiliaktinis gelis, ir nesureagavusias šlako daleles supa pusiau sureagavę sluoksniai. Vidinis produktas yra tankesnis, kietesnis ir standesnis nei aplinkinės produkto fazės. Natrio hidroksidu aktyvuoto šlako cemento mikromechaninėms savybėms įtakos neturi aktyvatoriaus molingumas; panašiai nepakinta makro masto stiprumas. Natrio silikatu aktyvuoto šlako mikromechaninės savybės, atvirkščiai, šiek tiek pagerėja padidėjus silicio dioksido moduliui, o makroskalės stipris rodo reikšmingą pagerėjimą. Makroskalės pagerėjimą greičiausiai lemia padidėjęs nesureagavusių šlako cemento dalelių dydis, kuris yra labai kietas ir standus. [17].

Šiame darbe buvo ištirtas anglies nanovamzdelių (CNT) poveikis šarminiu būdu aktyvuoto šlako (AAS) savybėms, įskaitant jų reologiją, stiprumą ir susitraukimą, ir gauti mechanizmai ištirti mikrostruktūros bandymais ir hidratacijos šilumos išsiskyrimo bandymu. Esant CNT, AAS-CNT kompozicinės teslos klampumas buvo žymiai padidintas. Esant optimaliai CNT dozei (0,1 masės%), kompozito gniuždomasis ir lenkiamasis stipris padidėjo atitinkamai 7,18% ir 37,69%, o susitraukimas sumažėjo 12,31%, palyginti su kontroliniu mėginiu. Tada kietėjimo mechanizmas buvo tirtas izoterminės kalorimetrijos, rentgeno difrakcijos (XRD), termogravimetrinės analizės (TGA), rentgeno fotoelektroninės spektroskopijos (XPS), branduolinio magnetinio rezonanso (BMR), gyvsidabrio porosimetrijos (MIP) ir skenjančios elektronų mikroskopijos būdu (SEM). Nors AAS hidratacija sulėtėjo per pirmąsias kelias valandas, kaip rodo hidratacijos temperatūra, bandinių su CNT ir be jų tačiau po 28 parų hidratacijos produktų skirtumas buvo nereikšmingas. XPS rezultatai taip pat parodė, kad tarp bandinių su CNT ir be jų cheminis poslinkis neįvyko. ²⁹Si NMR matavimai parodė tik nedidelį kalcio aliumosilikato gelių modifikavimą CNT būdu. SEM ir MIP rezultatai parodė, kad CNT kompozicijoje veikė kaip nano-užpildas ir sumažino matricos aktyvumą iki 14,16%. Remiantis šiais duomenimis, galima teigti, kad CNT sustiprino AAS kompozitą pirmiausia dėl jų fizinio poveikio. [20].

Anglies nanovamzdelių (CNT) mechaninės savybės leidžia manyti, kad jie yra aukštos kokybės cementinių kompozitų ir šarminio aktyvuoto betono medžiagos. Tai buvo susiję su CNT įtraukimu į medžiagas, kurių pagrindą sudaro cementas (B.S.Sindu, 2017). Efektyvus įvairaus ilgio daugiasluoksnių anglies nanovamzdelių (MWCNT) išsklaidymas vandenyje buvo pasiektas naudojant ultragarso energiją ir kartu su paviršiaus aktyvia medžiaga. Ultragarso energijos ir paviršiaus aktyviųjų medžiagų koncentracijos poveikis MWCNT dispersijai esant skirtingiems cemento kiekiams. Buvo įrodyta, kad dispersijai reikalinga ultragarso energija, o dispersijai yra optimalus paviršiaus aktyviosios medžiagos ir CNT santykis. MWCNT pagerina cemento tešlos ir šarminiu būdu aktyvuoto betono medžiagų nano ir makromechanines savybes. [21].

Lakiųjų pelenų pagrindu pagaminti geopolimerai šiuo metu yra laikomi tinkamu įprasto portlandcemenčio (OPC) pakaitalu dėl daugialypių privalumų, tokių kaip ekonomiškumas, cheminis stabilumas, atsparumas korozijai, greitas stiprumo padidėjimas, mažas susitraukimas ir atsparumas užšalimui. Tačiau geopolimerai yra labiau trapūs nei OPC, todėl dėl saugos problemų jie nėra tinkami betoninėms konstrukcijoms. Pagerintų elektrinių savybių geopolimerai taip pat gali būti naudojami kaip specifinės medžiagos, galinčios aptikti jų pačių struktūrinius pažeidimus. Todėl šis straipsnis yra skirtas ištirti daugiasluoksnių anglies nanovamzdelių (MWCNT) įtaką lakiųjų pelenų (FA) geopolimerinių kompozitų mechaninėms ir elektrinėms savybėms. Susintetintos geopolimerinės matricos, turinčios skirtingas MWCNT koncentracijas (0,0%, 0,1%, 0,5% ir 1,0% masės), ir nustatytos jų mechaninės savybės (ty, lenkimo stipris, Youngo modulis, lenkimo stipris), elektrinis laidumas ir pjezorezityvinė reakcija. Norint įvertinti MWCNT pasiskirstymo kokybę matricoje ir nustatyti jų poveikį įtrūkimų prevencijai, buvo naudojamas skenavimo elektroninis mikroskopas (SEM). Eksperimento rezultatai parodė, kad MWCNT buvo tolygiai pasiskirstę matricoje, esant 0,1 ir 0,5% masės, ir jie buvo blogai pasiskirstę ir stipriai aglomeruoti matricoje, esant 1% masės. Eksperimento rezultatai taip pat parodė, kad pridėjus MWCNT, lenkimo stipris, Youngo modulis ir atsparumas lenkimui padidėjo atitinkamai 160%, 109% ir 275%. MWCNT taip pat elektros laidumą 194%. Geopolimeriniai nanokompozitai pasižymėjo pjezorezityviu atsaku, turinčiu didelį jautrumą mikro įtrūkimų sklidimui. [22].

Šiame tyrime pateiktas metakaolino pagrindu pagaminto geopolimero nanokompozito, sutvirtinto daugiasluoksniais anglies nanovamzdeliais, paruošimas ir mechaninis elgesys. Šiame darbe į metakaolino pagrindu pagamintą geopolimero tešlą buvo dedami daugiasieniai anglies nanovamzdeliai (MWCNT) esant 0, 0,5 arba 1% masės koncentracijai. Kiekvieno bandinio mechaninės savybės buvo išbandytos sulaukus 7, 14 ir 28 parų. TEM ir FESEM buvo naudojami MWCNT dispersijos kokybei metakaolino geopolimero matricoje įvertinti ir jų stiprinimo mechanizmui įvertinti. Bandymo rezultatai parodė, kad pridėjus apie 0,5% masės MWCNT, gniuždymo ir lenkimo stipris padidėjo atitinkamai 32% ir 28%. Remiantis šiais rezultatais, MWCNT gali veikti kaip veiksmingi tiltai, siekiant sumažinti ir apriboti mikro įtrūkimų plitimą per metakaolino pagrindu pagamintą geopolimerą nanokompozitą homogeniškos dispersijos ir gero sukibimo tarp MWCNT ir aplinkinių metakaolino pagrindu pagamintų geopolimerų tešlos sąlygomis. [23].

Lakiųjų pelenų geopolimeras yra amorfinė aliumosilikatinė medžiaga, kuri laikoma alternatyva portlandcemenčio betonui. Vienas iš ribojančių jo naudojimo veiksnių yra padidėjęs susitraukimas ir su tuo susijęs įtrūkimų atsiradimo padidėjimas. Šiame darbe pateiktas daugiasienių anglies nanovamzdelių (MWCNT) taikymo tyrimas, siekiant pagerinti lakiųjų pelenų geopolimero lūžio savybes. Pridedamas MWCNT kiekis kinta nuo 0,05–0,2% lakiųjų pelenų masės. Mechaninės lūžio savybės buvo nustatytos įvertinant trijų taškų lenkimo lūžio bandymus. Mėginio atsakas lūžio

bandymų metu taip pat buvo stebimas akustine spinduliuote, o šis metodas taip pat buvo naudojamas nustatant įtrukimų polinkius, atsirandančius kietėjimo metu. Rezultatai rodo, kad pridėjus MWCNT, padidėja lakiųjų pelenų geopolimero elastinis modulis ir gniuždymo stipris. Tačiau pagrindiniai lūžio parametrai (atsparumas lūžiams, lūžio energija) pirmiausia sumažėjo pridėdant labai nedaug MWCNT ir buvo atkurti arba šiek tiek viršyti pamatinės vertės, naudojant didesnę MWCNT kiekį. [24].

Ištirtas anglies pluošto (CF) pridėjimo poveikis lakiųjų pelenų geopolimero elektrinei elgsenai ir mechaninėms savybėms. CF / geopolimerinių kompozitų elektrinis atsparumas buvo sistemingai tiriamas kaip CF koncentracijos, skysčio ir pelenų santykio (L / A) funkcija, kietėjimo temperatūra, senėjimo laikas, matavimo dažnis ir matavimo technika. Trys skirtingi metodai, naudojami šiame tyrime elektrinėms savybėms matuoti, buvo I-V kreivės matavimas, ciklinė voltamperometrija ir elektrocheminės varžos spektroskopija. Kiekviena technika davė panašius rezultatus. Elektros laidumas labai priklausė nuo CF koncentracijos. Nustatyta, kad kompozitas, turintis 0,5% masės CF, pasižymi didžiausiu gniuždymo stiprumu. Mūsų išvados parodė, kad CF pridėjimas ne tik pagerino elektros laidumą keliais dydžiais, bet ir pagerino jo mechanines savybes. Šių savybių pagerėjimą lėmė bendras poveikis, kurį patvirtino rentgeno spindulių difrakcijos ir skenavimo elektroninės mikroskopijos metodai, kad matricos fazės nepasikeitė, o pluošto pasiskirstymas buvo vienalytis ir atsitiktinai orientuotas. [25].

Straipsnyje buvo siekiama ištirti MWCNT poveikį šlako geopolimerinio skiedinio savybėms. Buvo susintetintos geopolimerinės matricos, turinčios skirtingus MWCNT priedus (0,0, 0,1, 0,2, 0,3 ir 0,4% skaičiuojant nuo panaudoto rišiklio masės). Medžiagos buvo paruoštos esant santykiui 0,34–0,39% vandens / rišiklio, atsižvelgiant į MWCNT kiekį. Šarminiam aktyvavimui buvo naudotas 6% NaOH vandeninis tirpalas. Taip pat buvo naudojamas superplastikatorius - Gelenium Ace-30 1,4–2,2% nuo visos sausosios masės. Kietinimas buvo atliktas esant 40 °C temperatūrai ir 100% drėgnumui. Rezultatai parodė, kad pridėjus MWCNT, pagerėjo/sutankėjo susidariusi amorfinė geopolimero struktūra, žymiai sumažėjus džiovimo susitraukimui, taip pat vandens absorbcijai, specialiai naudojant 0,1% MWCNT. Didesnis WCNT kiekio naudojimas sukėlė MWCNT aglomeraciją matricoje ir todėl kliudė geopolimerizacijos reakcijoms, neigiamai veikė masės sklidumą ir susidariusio geopolimero struktūrą. Skiedinio nanokompozitai tirti naudojant XRD, FTIR ir SEM. Nustatyta, kad kai MWCNT koncentracija buvo 0,1 ir 0,4% nuo cemento masės, padidėjo amorfinio geopolimero ir CSH kiekis. Nuadojantiki 0,1%, MWCNT tolygiai pasklido po visą bandinį ir sutankino geopolimerų matricą, kuri pasižymėjo vienalyte struktūra. [26].

Straipsnyje aprašomas anglies nanovamzdelių poveikis portlandcemenčio ir mikrosilikos-anglies nanovamzdelių cemento skiedinių stipris gniuždant ir lenkiant. Mikrosilika, šalutinis produktas iš silicio metalo ir ferosilicio lydinių pramonės buvo naudojami kaip cemento pakaitalas. Naudota 10% nuo cemento masės. Anglies nanovamzdeliai, pagaminti CVD metodu, buvo naudojami kaip papildoma medžiaga iki 1% masės. Visiems skiedinio mišiniam buvo naudojamas vandens ir rišiklio santykis (m / m) 0,5. Mėginiai buvo kietinami vandenyje, kol jie buvo tiriami sulaukus 28 dienų. Rezultatai rodo, kad skiediniai su mikrosilika turi didesnę gniuždymo ir lenkimo stiprumą nei įprasto portlandcemenčio skiediniai. Kai į sistemą buvo įdėti kartu anglies nanovamzdeliai (CNT) ir mikrosilika, tai bandinių gniuždymo ir lenkiamasis stipris dar labiau padidėjo. Buvo nustatyta, kad optimalus CNT kiekis yra 0,5%, nes esant šiam kiekiui buvo gautas didžiausias bandinių stipris. CNT yra anglies medžiaga, kurios cilindrinė nanostruktūra turi tokias pačias savybes kaip grafito lakštai, kurių skersmuo nanodalelių dydžio ir kurie pasižymi puikiomis mechaninėmis savybėmis

(atsparumas tempimui net 200 GPa) [5, 6] Pastaruoju metu didėja susidomėjimas CNT naudojimu cemento ir betono pramonėje [7–9]. Buvo paskelbta apie gniuždomojo stiprio pagerėjimą, naudojant CNT (iki 1%) portlandcementyje [10, 11] ir portlandcemenčio bei pelenų kompozicinėje medžiagoje [7]. Stiprio gniuždant padidėjimas yra sietinas su fizikiniu matricos sutankinimu [7, 12]. Šiame tyrime mikrosilika, kurie yra labai smulki medžiaga, buvo naudojama kartu su CNT nanodalelių dydžio medžiaga. Tyrimai parodė kad abiejų medžiagų reikia naudoti nedaug, kad sustiprintų mechanines bandinių savybes tankinant cemento matricą. Ištirtas mikrosilikos ir CNT poveikis cemento skiedinių gniuždomajam ir lenkiamajam stiprumui. [27].

3. Smulkintos pirolizės būdu gautos anglies įtaka šarmu aktyvuotoms sistemoms

Didelis autogeninis ir džiūvimo susitraukimas, susijęs su silicio dioksido garų naudojimu, padidina įtūrimų tikimybę šiltomis klimato sąlygomis ir apriboja jų naudojimą kaip papildomą cementinę medžiagą. Šiame straipsnyje tiriama pirolizės būdu gauta anglis, pridėta kaip dalinis silicio dioksido garų ir cemento, įtaka cemento skiedinio susitraukimui, hidratacijai, stiprumui ir pralaidumui. Pelenai buvo paruošti iš medienos atliekų ir kokoso lukšto ir naudojami kaip atitinkamai 5% cemento masės ir 33% silicio dioksido garų pakaitalai. Pastebėta, kad pirolizės būdu gautos anglies (5% cemento masės) ir silicio dioksido garų (10% cemento masės) derinys gali sumažinti autogeninį susitraukimą ir džiūvimo susitraukimą 61% ir 23%, palyginti su skiediniu, kuriame yra tik silicio dioksido garai (15% cemento masės) sulaukęs 91 dienos amžiaus. Palyginimui nustatyta, kad didesnis angliavandenilių pralaidumas ir mažesnis porų posūkis lemia didesnę autogeninio susitraukimo sumažėjimą. Nustatyta, kad medienos ir kokoso lukšto biologinė anglis, pridėdant 5% cemento masės, pagerina skiedinio hidrataciją, stiprumą ir pralaidumą vandeniui, palyginti su kontroliniu bandiniu. Pirolizės būdu gautos anglies ir silicio dioksido garų derinys rodo geresnę 28 dienų stiprumą, lyginant su kontroliniu skiediniu, ir pasižymi panašiu stiprumu ir vandens pralaidumu kaip skiedinys, turintis tik silicio dioksido garus (15%). Tyrimo rezultatai išryškina naudą naudojant anglių aukštos kokybės betone, kuris gali sumažinti portlandcemenčio ir silicio dioksido garų paklausą. [29].

Maisto atliekų šalinimas sąvartynuose dėl žemo perdirbimo lygio kelia rimtą susirūpinimą dėl dirvožemio ir vandens užteršimo bei metano ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų skilimo proceso metu. Šiame darbe nagrinėjama galimybė naudoti angliavandenilius, gautus iš mišrių maisto atliekų (FWBC), ryžių atliekų (RWBC) ir medienos atliekų (mišrios medienos pjūklo dulkės, MWBC), kaip skiedinyje anglies sulaikymo priedą. RWBC ruošiamas iš virtų paprastų ryžių, o FWBC - iš ryžių, mėsos ir daržovių derinio fiksuota proporcija. Nustatyta, kad anglies kiekis FWBC, RWBC ir MWBC yra atitinkamai 71%, 66% ir 87% masės. Rezultatai rodo, kad 1-2% masės FWBC ir RWBC skiedinyje pridėjimas yra panašus mechaninis stiprumas, kaip ir kontrolinis mišinys (be pirolizės būdu gautos anglies). 1% masės FWBC sumažino vandens įsiskverbimą ir kapiliarumą atitinkamai 40% ir 35%, o tai rodo didesnę skiedinio nepralaidumą. Mišrių medienos pjuvenų dulkių anglis geriau veikia pagal mechanines ir pralaidumo savybes. Buvo užfiksuotas stiprumas gniuždant ir tempiant iki 20%, o vandens prasiskverbimo gylis ir kapiliarumas sumažėjo atitinkamai apie 60% ir 38%, palyginti su kontroliniu bandiniu. Nustatyta, kad tiek FWBC, tiek MWBC veikia kaip skiedinio pastos sutvirtinimas, o tai lėmė didesnę plastiškumą nei kontrolė sugedus esant lenkimui. Šis tyrimas rodo, kad maisto atliekų ir mišrių medienos pjuvenų dulkių anglis gali būti sėkmingai panaudota kaip cemento skiedinio priedas, kuris taip pat skatintų atliekų perdirbimą. [30].

Šiame tyrime buvo ištirta iš ryžių lukštų ir medienos atliekų pagamintos anglies įtaka cementinio kompozito hidratacijos kinetikai ir atsparumui chloro ir sulfato poveikiui. Buvo tiriamas atsparumas stiprumas, masės pokyčių, išsiplėtimo ir mikro-konstrucinių pokyčių atžvilgiu ir palygintas su panašiomis skiedinio savybėmis įprastu kietėjimu. Išvados rodo, kad ryžių lukštų pirolizės būdu gautoje anglyje (RHB) yra 15–16% amorfinio silicio dioksido, nors jo anglies kiekis (42%) ir specifinis paviršiaus plotas yra žymiai mažesnis nei iš medžio pirolizės būdu gautos anglies (79% anglies ir 227 m² / g paviršiaus ploto). Abi pelenų rūšys, esant 1% masės dozei, padidina hidratacijos greitį ankstyvoje stadijoje lyginant su kontroliniu bandiniu, priskiriamos dideliame paviršiaus plotui, smulkesniam nei cemento dydžiui ir cemento hidratų branduoliams ant anglies paviršiaus. Ir RHB, ir MWBC, esant 1–2%, žymiai sumažina vandens pralaidumą lyginant su kontroliniu bandiniu, o tai taip pat atspindi 15–18% pagerėjęs cemento skiedinio stiprumas 7, 42 ir 120 dienų amžiuje. Mažesnis

pralaidumas dėl abiejų rūšių biologinės anglies pridėjimo sumažina masės prieaugio greitį dėl natrio chlorido absorbcijos, prisidedamas prie 9 dienų didesnio stiprumo nei kontrolinis bandinys po 120 dienų poveikio. Remiantis stiprumu, vandens ir cemento santykiu bei cemento kiekiu, išbandyti skiediniai tinka XS2 (EN 206) poveikio klasei, kai betonai visada yra panardinami į vandenį. Veikiant natrio sulfato tirpalui, nustatyta, kad 1 % RHB ir 1% MWBC stiprumas pagerėja 14–17% lyginant su kontroliniu po 120 dienų, tuo pačiu sumažinant stiprumo praradimą dėl sulfato išplovimo. Mikro-struktūrinė analizė rodo, kad pirolizės būdu gautos anglies poras blokuojantis poveikis sušvelnina mikro-struktūrinius pažeidimus dėl sulfatų atakos. Tai suteikia aukštesnį matmenų stabilumą, atspindintį nuo 62 iki 68% mažesnio MWBC skiedinio ir RHB skiedinio išplėtimo, palyginti su kontroliniu. Šios išvados rodo, kad tinkamas naudoti biocheminis skiedinys vidutinio sunkumo sulfatinėje aplinkoje. [31].

Pirolizės būdu gauta anglis yra žalia medžiaga, gaunama termochemiškai konvertuojant atliekų biomasę esant ribotam deguonies kiekiui. Šis tyrimas parodė naują ir tvarų metodą medienos atliekas panaudoti atliekų anglį į cemento pagrindo kompozitus, kurie kietėja CO₂. Rentgeno spindulių difrakcija (XRD) ir termogravimetrinė analizė (TGA) parodė, kad įjungus angliavandenilį skatinamas papildomų cemento hidratų susidarymas dėl drėgmės reguliavimo efekto, tačiau nepadidino ir neatidėjo hidratacijos proceso, kaip nurodyta izoterminės kalorimetrijos rezultatuose. Konkrečiai, pridėnant 1% anglies, kompozitų atsparumas gniuždymui padidėjo 8,9%. Tačiau įmaišius 5% anglies, sumažėjo gniuždymo jėga dėl porėtos ir trapios pirolizės būdu gautos anglies struktūros. Šiam neigiamam poveikiui sušvelninti buvo naudojamas kietėjimas CO₂. Kietėjimo CO₂ metodu karbonizacija paspartėjo efektyviau nei ore kietinimo būdas kompozitams gaminti. Po gazifikacijos gausūs cemento hidratai pagerino sukibimo stiprumą, o karbonatai tankino mikrostruktūrą, o tai iš esmės padidino mechaninį stiprumą ir anglies sekvestraciją. Todėl bendras anglies atliekų panaudojimas ir kietinimas CO₂ gali būti ekologiška technologija, padedanti pagerinti cemento pagrindu pagamintų kompozitų savybes ir skatinti atliekų perdirbimą bei CO₂ panaudojimą. [32].

Šiame tyrime tiriama pirolizės būdu gautos anglies dalelių dydžio ir paviršiaus morfologijos įtaka cemento skiedinio reologijai, stiprumo vystymuisi ir pralaidumui drėgnose ir sausose kietėjimo sąlygose. Eksperimentiniai rezultatai rodo, kad cemento pastos tekamumui ir klampumui didesnę įtaką daro makro-poringos šiurkštesnės (arba „įprastos“) 2–100 μm (NBC) dydžio anglies dalelės, palyginti su smulkia (arba „malta“ anglimi), kurios dydžio diapazonas 0,10–2 μm (GBC). Pridėnant tiek GBC, tiek NBC, pagreitėjo hidratacijos kinetika ir pagerėjo ankstyvasis (1 dienos) ir 28 dienų stiprumas 20–25%, palyginti su kontroliniu skiediniu. Vandens pralaidumas, matuojamas pagal kapiliarų absorbciją, sumažėjo apie 50%, palyginti su kontroliniu skiediniu, dėl to, kad buvo pridėta atitinkamai 0,50–1% NBC ir GBC. Nustatyta, kad GBC veiksmingiau sumažina stiprumo ir sandarumo vandenyje praradimą sauso kietėjimo sąlygomis, palyginti su kontroliniu skiediniu atitinkamai NBC ir su kvarco užpildu. Apibendrinant galima teigti, kad tyrimo išvados rodo, kad smulkesnės anglies dalelės pasižymi geresnėmis savybėmis pagerinti ankstyvąjį stiprumą ir sandarumą vandeniui, palyginti su įprasta anglimi (su makroporomis), o skiedinio, turinčio atitinkamai tiek GBC, tiek NBC, 28 dienų savybės yra panašios. [33].

Cemento gamyba yra reikšmingas anglies dvideginio išmetimo šaltinis, kurį galima sumažinti, jei cemento dalis pakeičiama pirolizės būdu gauta anglimi (BC). Nors yra teigiamų BC-cemento kompozicijos rezultatų, miltelių pavidalo, įvairiose temperatūrose pirolizuoto BC, poveikis cemento skiedinio savybėms vis dar nežinomas. Čia mes ištyrėme keturių rūšių skiedinio mėginių, sumaišytų su dalimi cemento, pakeisto miltelinio BC, pirolizuoto 400 ° C, 500 ° C, 600 ° temperatūrose,

kietėjimo laiką, vandens absorbciją, mechaninį stiprumą ir šilumos laidumą. Atitinkamai 700 ° C. Nustatytas pakaitinis BC ir cemento santykis pagal svorį: 0%, 1%, 3%, 5% ir 10%. Rezultatai parodė, kad 1-3% buvo optimalus BC priedas (neatsižvelgiant į jo pirolizės temperatūrą), siekiant pagerinti skiedinio stiprumą, nepakenkiant kitoms BC turinčių skiedinio kompozitų mechaninėms savybėms. Pridedant 1,0% BC esant 400 ° C, skysčių ir vandens absorbcija sumažėjo atitinkamai 3,0% ir 9,0%. Be to, skirtingose temperatūrose pirolizuotų skiedinių, turinčių BC šilumos laidumas mažėjo tiesiškai, didėjant BC turiniui. Šios naujos išvados siūlo naują naudingą išleidimo angą, kad užrakintų BC inertinėse cementinėse medžiagose ir sumažintų cemento suvartojimą. [34].

Žinoma, kad ypač didelio stiprumo betono (UHPC) hidratacijos laipsnis yra mažas dėl mažo vandens ir cemento santykio, todėl didelė cemento dalis yra tik brangus užpildas. Čia pateiktas tyrimas parodo pirolizės būdu gautos anglies kaip mineralinio priedo, galinčio pakeisti cementą UHPC, potencialą, sustiprinantį hidrataciją dėl jo vidinio kietėjimo ir branduolių susidarymo. „Biochar“ buvo paruoštas pirolizuojant vietoje prieinamas mišrių medienos pjūklų dulkes ir išskirstytas į tris dydžių diapazonus: šiurkštus (C): 250–500 μm, vidutinis (M): 125–250 μm ir smulkus (F): mažesnis nei 125 μm. Tada jie buvo naudojami 2, 5 ir 8% masės cementui pakeisti iki mirkymo. Izoterminės kalorimetrijos būdu išmatuotas hidratacijos greitis ir bendra šiluma buvo nuolat didesnis mėginams su anglies priedu, o šiurkščiavilnių biocharinių mėginių generuojama iki 30% daugiau šilumos 96 valandų žymeje, palyginti su kontroliniu mišiniu. Nustatyta, kad hidratacijos laipsnis, apskaičiuotas atliekant termogravimetrinę analizę, naudojant Bhatti metodą, padidėjo nuo 42% (kontroliniame mišinyje) iki 59% (mėginiuose, kuriuose 5% masės biocharo). Smulkioji anglis, pakeičiant 5%, taip pat parodė palyginamąjį 28 dienų stiprį gniuždant (144MPa) kaip kontrolinį mišinį (150MPa). Hidratuotų pastų mikrostruktūra, tirta naudojant nuskaitymo elektroninę mikroskopiją, parodė cemento hidratų nusėdimą ant anglies paviršiaus ir paviršiaus porų, turinčių tankią perėjimo zoną, ir dar labiau rodo biocharo efektyvumą gerinant hidrataciją. [35].

Vidinis kietėjimas ir ekspansiniai priedai paprastai naudojami siekiant sumažinti autogeninį cemento medžiagų susitraukimą. Pirolizės būdu gauta anglis, turi porėtą mikrostruktūrą ir vandens sulaikymo galimybes, gali būti naudojama kaip naujas vidinis kietiklis, tuo tarpu nedaug dėmesio buvo skiriama jo poveikiui autogeniniam cemento medžiagų susitraukimui. Šiuo darbu siekiama ištirti anglies ir jo derinio su ekspansyviu MgO priedu (MEA) poveikį cemento tešlos vidinei santykinei drėgmei, autogeniniam susitraukimui, gniuždymo stiprumui ir mikrostruktūroms, naudojant drėgmės jutiklį, lazerio poslinkio matuoklį, MIP, TG / DSC ir SEM. Rezultatai parodė, kad, palyginti su paprasto cemento tešla, įterpus anglies miltelius, vidinis kietėjimas buvo efektyvus, išlaikant aukštesnę vidinę santykinę drėgmę ir taip sumažinus autogeninį susitraukimą 16,3%, sulaukus 180 valandų amžiaus. Akivaizdus sinergetinis poveikis lengvinant autogeninį cemento tešlos susitraukimą buvo pastebėtas, kai cemento tešloje buvo pridėta anglies su MEA deriniu. Pavyzdžiui, pridodant 2% pirolizės būdu gautos anglies ir 8% masės MEA su dideliu reaktyvumu (reaktyvumo vertė 45s), bandinys padidėjo, o ne susitraukė po 180 valandų. Pirolizės būdu gautos anglies pridėjimas siek tiek padidino cementinių tešlų gniuždymo stiprumą po 28d ir 90d. Tai palengvina iš dalies kompensuoti kompromisą dėl cemento tešlos atsparumo gniuždymui, kurį sukelia vien MEA įterpimas. Šis tyrimas pateikia naują ir veiksmingą metodą autogeniniam cemento medžiagų susitraukimui sušvelninti. [36].

Pirolizės būdu gauta medžiaga yra laikoma veiksmingu anglies dioksido sulaikymo priemaiša. Šiame tyrime nagrinėjama galimybė juos naudoti cemento skiedinio mechaniniam stiprumui pagerinti ir pralaidumui sumažinti. Tyrime buvo įvertintas šviežio ir anglies dioksidu prisotinto angliavandenilio poveikis kietėjimo laikui, mechaniniam stiprumui ir cemento skiedinio pralaidumui. Pelenai buvo

paruošti iš sumaišytų medienos pjuvenų dulkių 300 ° C temperatūroje ir maišant pridėtas 2% masės cemento. Nustatyta, kad pridėjus šviežios ir prisotintos anglies, sutrumpėja pradinis kietėjimo laikas ir žymiai pagerėja ankstyvas skiedinio stipris gniuždant. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad pelenų pridėjimas gali suteikti skiedinio plastiškumą lenkiant, nors lenkimo stiprumui tai reikšmingos įtakos neturėjo. Skiedinio prasiskverbimas į vandenį ir kapiliarumas buvo žymiai sumažintas dėl to, kad buvo pridėta angliavandenilio, o tai rodo didesnę nepralaidumą skiedinyje. Tačiau nustatyta, kad pridėdant šviežių pirolizės būdu gautos anglies, mechaninis atsparumas gautas žymiai didesnis ir jo pralaidumas pagerėja, palyginti su anglies dioksidu prisotintu angliavandeniliu. Šie rezultatai rodo, kad pirolizės būdu gauta anglis gali būti sėkmingai panaudota kaip anglies sulaikymo priemaiša betoninėse konstrukcijose, kuri taip pat suteikia galimybę perdirbti atliekas. [37].

Organinių atliekų tvarkymas yra pati aktualiausia tema, nes jų perdirbimo ir skaidymo metu išsiskiria metano ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų, dėl kurių kyla rimtų aplinkos problemų. Ribotos deguonies termocheminiai procesai, tokie kaip pirolizė ar garinimas, parodė apdorotos biomasės energijos atgavimo potencialą ir jos naudą aplinkai. Tačiau kietoji proceso dalis - „Biochar“ - laikoma atliekomis, nes tik jos rupi anglis gali būti naudojami kaip dirvožemio savybes gerinančios medžiagos. Nepaisant to, keli tyrėjai ištyrė, kad galimą panaudojimą kaip žalią užpildą, kad sumažintų tiek cemento gamybos, tiek cemento pagrindu pagamintų statybinių medžiagų anglies pėdsaką. Šiame darbe „Biochar“ mikrodalelės buvo naudojamos ir kaip užpildas cemento pastos ir skiedinio kompozitų viduje, ir kaip cemento miltelių pakaitalas mišinių viduje. Remiantis ankstesniu darbu, šis tyrimas turi dvejopą tikslą: suprasti visišką optimizuoto „Biochar“ procentinio kiekio (2% cemento svorio atžvilgiu) naudojimo kaip užpildo mišinyje arba kaip jo pakaitalo įtaką. cementas, tuo pačiu garantuojant stiprumo pagerėjimą neprarandant plastiškumo. Rezultatai parodė, kad 2% „Biochar“ dalelių pakanka cemento ir skiedinio kompozitų stiprumui ir tvirtumui padidinti, ir gali išlaikyti mechanines savybes, lygias kontrolinių mėginių savybėms. [38].

Didėjant gyventojų skaičiui ir didėjant poreikiui gerinti aplinką, tikimasi, kad statybų pramonėje padidės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija. Anglies dioksido išmetimo lygis greitai artėja prie lūžio taško, kuris gali sukelti negrįžtamus klimato pokyčius. Žemės pajėgumai neutralizuoti išmetamą CO₂ kiekį per natūralų anglies ciklą yra per dideli. Todėl būtina pradėti naudoti technologijas, kurios sugeba surinkti ir pašalinti CO₂, kad būtų išvengta jų išmetimo iš pramoninės veiklos, pvz., Statybos ir statybų pramonės. Tai svarbu, kad cemento pagrindu pagamintų medžiagų gamybos anglies pėdsakas būtų smarkiai sumažintas, kad klimato pokyčiai vyktų teigiamai. „Biochar“ – pirolizės būdu gauta anglis, teikia daug vilčių kaip veiksminga CO₂ absorbuojanti medžiaga cemento gamyboje, palyginti su įprastu dirvožemio keitimo būdu. Tiesą sakant, buvo atlikti fragmentiški anglies, kaip priemaišos cementinėse medžiagose, tyrimai. Apibendrinant, buvo pabrėžtas teigiamas tokios anglies poveikis anglies dioksido pasisavinimui. [39].

Singapūras kasmet sugeneruoja apie pusę milijono tonų medienos atliekų, o tai sudaro didžiąją šalintinių atliekų dalį. Atliekant pirolizę medienos atliekoms, siekiant gauti anglį, kuri gali būti naudojama kaip priedas cemento skiediniui, yra perspektyvi alternatyva padidinti medienos atliekų perdirbimo lygį. Šiame straipsnyje nagrinėjama iš mišrių medienos pjuvenų paruoštos anglies įtaka cemento skiedinio stiprumui, tamprumo moduliui, džiūvimo susitraukimui ir pralaidumui. 1–8% cemento masės į skiedinį pridedama anglies, paruoštos pirolizės būdu 300 ° C (BC 300) ir 500 ° C (BC 500) temperatūroje. Rezultatai rodo, kad pridėdant 1–2% BC 300 ir BC 500, pagerėja ankstyvojo amžiaus (7 dienų) skiedinio gniuždymo jėga, kuri yra susijusi su dideliu 7,50 g / g ir 8,78 g / g vandens sulaikymu sausame BC 300 ir BC500 atitinkamai. Tačiau pridėdant anglies, lenkimo stiprumui,

džiūvimo susitraukimui ir elastingumo moduliui reikšmingos įtakos nebuvo. Skiedinys, pridėjus BC 300 ir BC 500 1%, vandens absorbciją ir vandens prasiskverbimo gylį sumažino iki 58% ir 66%, palyginti su kontroliniu skiediniu. Remiantis eksperimentiniais duomenimis, daroma išvada, kad norint pagerinti cemento skiedinio stiprumą ir sumažinti jo pralaidumą, gali būti rekomenduojama pridėti 1-2% pirolizės būdu gautos anglies. Šis tyrimas rodo, kad iš medienos atliekų pagaminta anglis pirolizės būdu gali būti naudojami kaip anglies sulaikymo priemonė, siekiant pagerinti cementinio skiedinio veikimą. [40].

Anglies milteliai nieko nekainuoja, nes jie yra biomasės terminio apdorojimo atliekos. Be to, ekonominiu požiūriu jie neturi jokių išlaidų, nes jie yra gaminami iš atliekų, naudojamų energijai gaminti. Dėl šios priežasties biomasės pirolizės proceso metu gaunamų anglies miltelių panaudojimas gali būti tinkama medžiaga, naudinga naujoms ekologiškoms statybinėms medžiagoms. [54].

4. Grafeno įtaka šarmu aktyvuotoms sistemoms

Šiuo straipsniu siekiama ištirti nesugadinto grafeno (PRG) dalelių dydžio poveikį cemento skiedinių gniuždymo ir tempimo stiprumui, bei geriau suprasti šių savybių pagerinimo mechanizmą. Pramoniniu elektrocheminiu būdu pagamintas, naudojant įvairius dalelių dydžius, įskaitant 5 μm, 43 μm, 56 μm ir 73 μm, buvo naudojamas optimalus 0,07% cemento masės rišiklio dozavimas. Rezultatai rodo, kad 7 ir 28 dienų cemento skiedinių mechaninis stiprumas labai priklauso nuo PRG dydžio. Mišiniai, kurių dydis yra 56 μm ir 73 μm, rodo reikšmingą įtaką tiek cemento skiedinių, tiek atsparumo tempimui, stiprumas gniuždam po 28 dienų padidėja maždaug 34,3% ir 30,1%, ir stiprumas tempiant po 28 dienų padidėja maždaug 26,9% ir 38,6%, atitinkamai. Kita vertus, mišinys, kurio sudėtyje yra 43 μm PRG priedo, žymiai padidina tik tempiamąjį stiprumą. Mišinys, kuriame yra 5 μm dalelių dydžio PRG priedo, gniuždymo stiprumui ar tempiamajam stiprumui neturėjo didelės įtakos. Pastebėtas cemento skiedinių mechaninių savybių padidėjimas dėl didelių PRG dalelių dydžių yra susijęs su cemento hidratacijos pagerėjimu, cemento dalelių atstumo sumažėjimu cemento misinyje dėl van der Waalso jėgų poveikio tarp PRG lakštų ir mechaninio sukibimo jėgos tarp PRG lakštų ir cemento dalelių. Šio tyrimo rezultatai rodo, kad PRG yra ne tik perspektyvus priedas praktiškai pritaikant statybines medžiagas, siekiant pagerinti dabartinius cemento kompozitų trūkumus, bet ir galimas variantas sumažinti naudojamo cemento kiekį, naudojama cemento kompozituose, ir sumažinti į atmosferą išmetamo CO₂ kiekį. [41].

Pažanga nanomedžiagų srityje suteikia neįkainojamą galimybę sukurti cementinius kompozitus nanomastu. Inžinerijos būdu sukurtos nanomedžiagos yra trijų pagrindinių formų: 0D nanodalelių, 1D nanopluosto ir 2D nanoplokštumos. Literatūroje aprašyta 0D nanodalelių ir 1D nanopluostų, pvz., Nanodalelių ir anglies nanovamzdėlių (CNT), naudojimas. 2D nanoplokštumų, žinomų kaip grafeno oksidas (GO), atradimas suteikia papildomą sąveikos su cemento ir betono matrica matmenį ir dar nesulaukė didelio dėmesio. Šiame darbe išsamiai apžvelgiami naujaisi cemento ir betono nanokompozitų kūrimo metodai. Čia taip pat pabrėžiamas nanomedžiagų įtraukimo mažomis dozėmis poveikis cemento pagrindo kompozitų gamybai, darbingumui, hidratacijai, mikrostruktūrai ir mechaninėms savybėms. [42].

Kaip 2D nanomedžiaga grafeno oksidas (GO) pritraukė daug dėmesio cementinių medžiagų sutvirtinimui. Tačiau ypatingas dėmesys turi būti skiriamas GO dispersijai matricoje, nes nanomedžiagos dispersijos kokybė tiesiogiai koreliuoja su jos efektyvumu gerinant mechanines ir kitas savybes. Šiame tyrime buvo tiriama grafeno oksido (GO) dispersija imituojamame porų tirpale ir cemento pastoje. Nustatyta, kad stiprus GO agregavimas įvyko, kai porų tirpale ir cemento pastoje buvo divalentinių kalcio jonų. Tačiau maišant, GO užpildai nebuvo stabilūs. Po stipraus maišymo masyvūs GO agregatai dalijasi į vidutinio dydžio daleles, svyruoja nuo kelių iki 100 μm. Siekiant pagerinti GO dispersiją cemento pastoje, silicio dioksido dūmai buvo naudojami mechaniškai atskirti atskiras GO nanoplokštumas. Tada dispersija buvo tiriama naudojant mikrostruktūros analizę ir mechanines savybes. Rezultatai parodė, kad, pridėjus silicio dioksido dūmų, GO nanoplokštumų dispersija buvo žymiai pagerinta. [43].

Pramoniniu elektrocheminiu būdu pagaminto ypač didelio dydžio ($56 \pm 12 \mu\text{m}$) nesugadinto grafeno (PRG) dozių (0,01%, 0,03%, 0,05%, 0,07%, 0,1% ir 0,3% cemento masės) poveikis. Norint geriau suprasti PRG-cementinių gelių sutvirtinimo mechanizmą, buvo atlikta mikrostruktūrinė analizė. Rezultatai rodo, kad pridėdant PRG į cemento skiedinius, pagerėja jų mechaninės savybės, priklausomai nuo būdingos koncentracijos. Skiedinio mišinys su 0,07% PRG identifikuojamas kaip

optimalios koncentracijos mišinys, o tai užtikrina 34,3% ir 26,9% geresnį gniuždymo ir tempimo stiprumą 28 po dienų. Šis patobulinimas siejamas su cemento pastos hidratacijos laipsnio pagerėjimu, dėl kurio gaminama daugiau kalcio silikato hidrato gelio. Tačiau toliau didėjant PRG kiekiui (t. y. 0,1%, 0,3%), skiedinių mechaninės savybės stiprėja ribotai dėl van der Waalso jėgos poveikio PRG suspensijos nuosėdoms, dėl ko blogai disperguojasi skiediniai. paruoštos PRG suspensijos. Šie rezultatai rodo, kad pramoniniu elektrocheminiu būdu pagamintas nesugadintas grafenas yra perspektyvus priedas gerinant statybinių medžiagų savybes. [44].

Grafeno įtraukimas į cemento pagrindo medžiagas sulaukė daugelio tyrinėtojų didelio dėmesio. Efektyvi grafeno dispersija gali padėti pagerinti mechanines ir kitas cemento kompozito savybes. Šiame tyrime buvo tiriamas silicio dioksido garų kiekio poveikis grafeno / cemento kompozito atsparumui gniuždymui ir elektrinei varžai. Grafeno ir silicio dioksido garų pasiskirstymas cemento matricoje buvo stebimas nuskaitymo elektronine mikroskopija (SEM), o kompozito porų struktūra buvo analizuojama gyvsidabrio įsiskverbimo porosimetrija (MIP). Rezultatai atskleidė, kad silicio dioksido garai galėjo pagerinti grafeno dispersiją ir padidinti sąsajos stiprumą tarp grafeno ir cemento matricos. Vidutinis silicio dioksido garų kiekis gali patikslinti cemento pastos porų struktūrą. Įtraukus reikiamą kiekį silicio dioksido garų, gali padidėti gniuždymo jėga ir sumažėti kompozito elektrinė varža. Tačiau papildomas silicio dioksido garų kiekis neigiamai paveikė mechaninius ir elektrinius rodiklius. [45].

5. Tyrimo metodai

5.1. Rentgeno difrakcinė analizė

Rentgenografinė analizė – tai medžiagų tyrimo metodas, atliekamas naudojant rentgeno spindulius. Rentgeno spinduliai – tai elektromagnetinis spinduliavimas, kuris gaunamas rentgeno vamzdžiuose susidūrus greitiems elektronams, kai juos veikia aukšta įtampa ir metalinis antikatodas. Šių elektromagnetinių virpesių bangų ilgis $10^{-2} - 10^2 \text{ \AA}$. Šis metodas plačiai taikomas tiriant įvairių kristalinių medžiagų struktūrą, sudėtį ir savybes.

Kristalinių medžiagų tyrimui rentgeno spinduliais būdinga tai, kad atstumai tarp atomų kristalinėse gardelėse ir rentgeno spindulių bangų ilgio yra tokio pat dydžio. Krentant į kristalą rentgeno spindulių pluoštui, vyksta jų difrakcija, t.y. kiekvienas gardelės atomas, į kurį patenka spindulys, tampa antrinės sferinės bangos šaltiniu. Rentgenografinės analizės esmė – difrakcinio vaizdo, gaunamo atomo plokštumoms atspindint rentgeno spindulius, tyrimas.

Rentgenografinė analizė remiasi Vulfo-Brego lygtimi, kuri nusako priklausomybę tarp rentgeno spindulio kritimo ir atspindžio kampo θ , jo bangos ilgio λ bei tarp plokštuminio atstumo d :

$$n\lambda = 2d \sin\theta,$$

čia: n – sveikas skaičius (1,2,3,...), vadinamas spektro arba atspindžio eilės numeriu.

Jei tenkinama ši lygybė, atspindėti rentgeno spindulių pluošteliai užregistruojami rentgeno aparatu.

Rentgenografinė analizė galima nustatyti:

1. Kokybiškai ir kiekybiškai mineralinę bei fazinę medžiagų sudėtį (rentgenofazinė analizė);
2. Kristalinių medžiagų struktūrą – elementarios gardelės formą, matmenis bei tipą, kristalo simetriją, atomų koordinates erdvėje (rentgenostruktūrinė analizė);
3. Kietų tirpalų tipą, dispersinių sistemų dalelių dydį ir orientaciją, medžiagų tekstūrą, tankį, terminio plėtimosi koeficientą, dangų storį, vidinius gaminių defektus ir kt.

Rentgenografinė analizė yra kiekybinė ir kokybinė.

Kokybinės rentgenografijos tikslas – nustatyti, kokios yra tiriamos medžiagos kristalines fazes. Nustatymas remiasi tuo, kad kiekvienas kristalinis junginys pasižymi specifiniais, tik jam būdingais, difrakciniais maksimumais (linijomis) ir jų intensyvumu. Praktiškai visų žinomų kristalinių junginių etalonines rentgenogramas galima rasti įvairiuose žinynuose.

Kiekybinė rentgenografinė analizė skirta atskirų junginių kiekiui nustatyti mišiniuose. Ji remiasi difrakcinių maksimumų (atspindžių) intensyvumo priklausomybe nuo nustatomo junginio procentinio kiekio.

Rentgeno difrakcinė analizė atlikta difraktometru ДРОН–6. Naudota: CuK_α spinduliuotė, Ni filtras, detektoriaus judėjimo žingsnis – $0,02^\circ$, intensyvumo matavimo trukmė – $0,5 \text{ s}$, anodinė įtampa $U_a = 30 \text{ kV}$, srovės stiprumas $I = 20 \text{ mA}$. Difrakcinės kreivės buvo papildomai užrašytos $2-10^\circ$ kampų intervale, naudojant plokščią galinį grafito monochromatorių ($d = 0,355 \text{ nm}$) ir matuojant intensyvumą žingsnyje $\tau = 1 \text{ s}$.

5.2. Mikroskopinė analizė

Medžiagų skenuojanti elektroninė mikroskopija (SEM) atlikta mikroskopu FEI QUANTA 200F. Didelę skiriamąją gebą skenuojančiam elektroniniam mikroskopui FEI Quanta 200 FEG suteikia lauko Schottky srities emisijos patranka (FEG). Skenuojant naudotos tokios darbinės sąlygos: aukšto vakuumo (HV) režimas– 5 kV.

5.3. XRF

Cheminė šlako sudėtis buvo analizuojama rentgeno fluorescencine spektroskopija (XRF) naudojant Bruker X-ray S8 Tiger WD spektrometrą su Rh vamzdeliu, kurio energija buvo iki 60 keV. Miltelių mėginiai buvo matuojami helio atmosferoje, o duomenys išanalizuoti naudojant SPECTRAPlus QUANT EXPRESS „standartinį“ XRF metodą.

5.4. Granulimetrinės sudėties nustatymas

Specifinis frezuoto šlako plotas buvo analizuojamas Blaine aparatu pagal EN 196-6: 2010. WS dalelių dydžio pasiskirstymas buvo nustatytas sijojimo metodu pagal LST EN 12620: 2003 ir LST EN 12620: 2003 / AC: 2005.

6. Pradinės medžiagos

6.1. Aliumosilikatinis pirmtakas – granuluotas aukštakrosnių šlakas ir fosfogipsas

Granuluotas aukštakrosnių šlakas ir fosfogipsas bus naudojami kaip šarmu aktyvuoto rišiklio aliumosilikatinis pirmtakas. Didžiausias tokių rišiklių privalumas yra tas, kad jų gamybos metu galima utilizuoti didelį kiekį pramonės gamybos atliekų, kurių sudėtyje vyrauja aktyvi silicio ir aliuminio junginių forma.

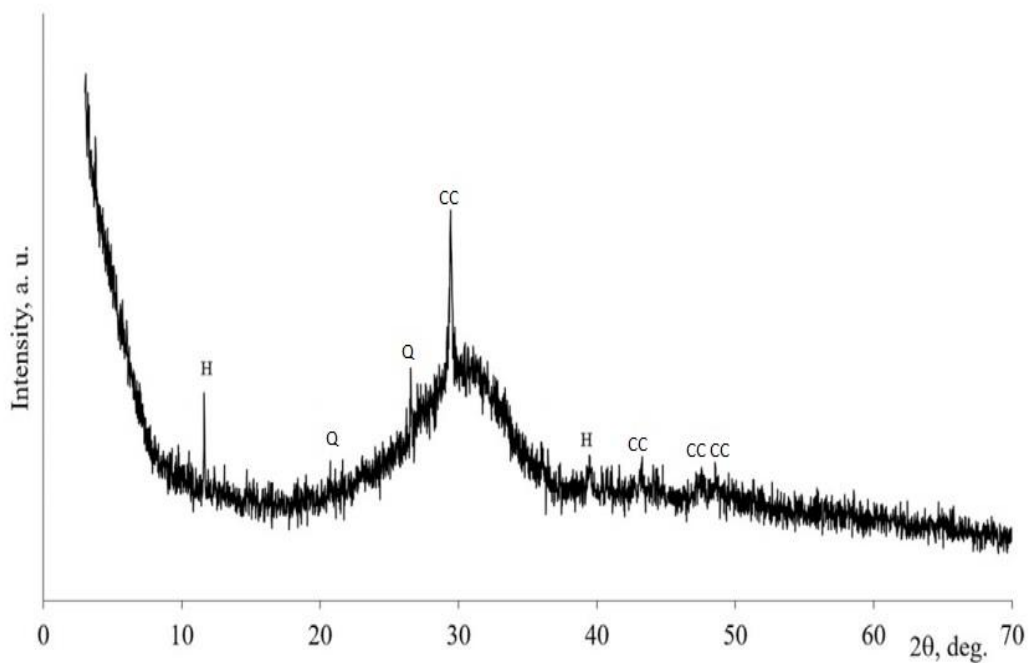
Tradiciškai šios medžiagos nekietėtų ir nepavyktų pagaminti betono, bet dėl naudojamo šarminio tirpalo jos pradeda tirpti ir ima rištis tarsi tradicinis cementas. Pagal mišinio sudėtį gali susidaryti geopolimerinė (sistemoje yra labai mažas kiekis kalcio) arba šarmu aktyvuota gelinė medžiaga (sistemoje yra didelis kiekis kalcio). Šarmais aktyvuotas betonas yra kur kas atsparesnis ugnies bei rūgščių poveikiui. Dėl didesnio pH toks betonas geriau saugo ir armatūrą nuo korozijos.

Šarmais aktyvuotas betonas gali daugelyje statybos sričių pakeisti tradicinį betoną. Šios medžiagos platesnį naudojimą iš dalies stabdo gajus įsitikinimas, kad medžiaga kietėja tik aukštesnėse temperatūrose, kas apribotų šarmais aktyvuoto betono panaudojimą tik gamyklose formuojamiems gaminiams. Parinkus specialią sudėtį ir paruošus žaliavas bei aktyvatoriaus tirpalą medžiaga gerai kietėja ir įprastoje (apie 20 °C) temperatūroje.

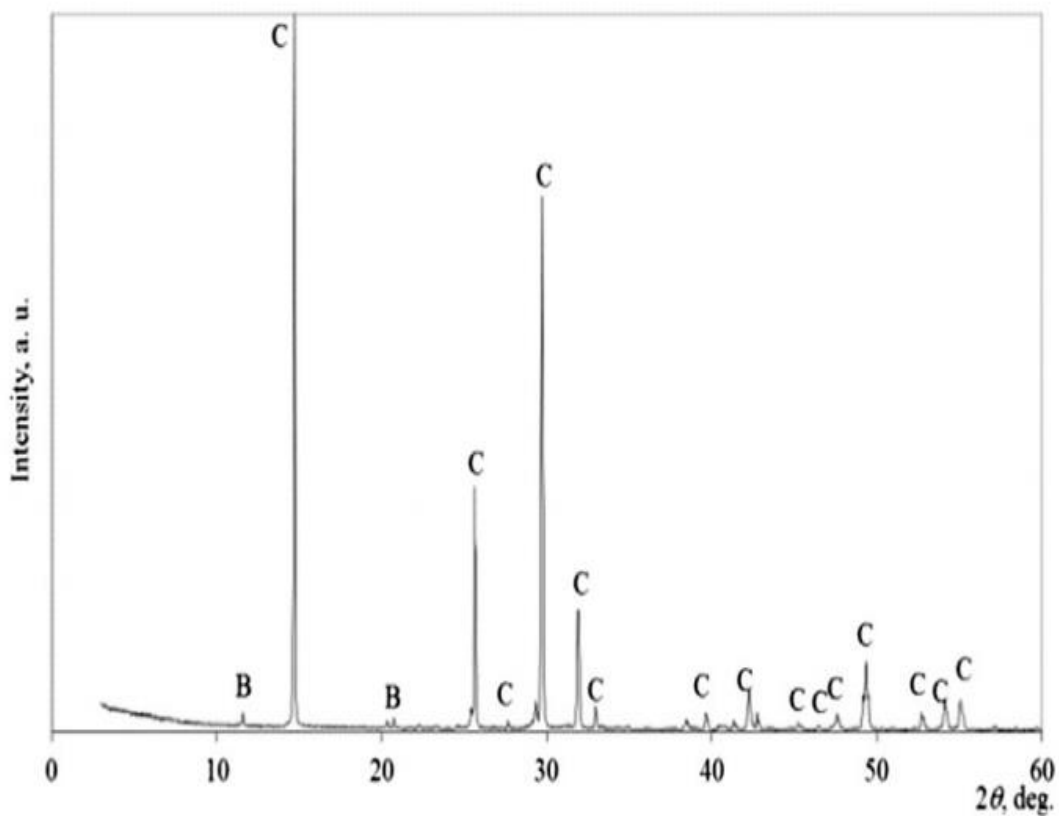
Medžiagų paruošimas daugiausiai priklauso nuo pačios medžiagos, pavyzdžiui, anglies lakiuosius pelenus galima iškart naudoti, lietuviškus biokuro pakuros pelenus dar reikia smulkinti iki cemento smulkumo. Siekiant gerinti galutinio produkto savybes galima maišyti kelias medžiagas. Žinoma, svarbu yra prieš tai medžiagas tinkamai iširti, nustatyti cheminę sudėtį bei priemaišas, kad jos sukietėjusiam betone nekeltų pavojaus aplinkai ir neblogintų betono stiprumo savybių.

Tokiu būdu šiame darbe pirmiausia buvo iširtas aukštakrosnių šlakas, kurių mineralinė sudėtis yra pateikta 1 pav., a Rentgenodifrakcinė analizė parodė, kad šiame šlake vyrauja kalcitas, kvarcas ir hidrotalcitas.

Fosfogipso rentgenodifrakcinė analizė parodė, kad jame vyrauja bansinitas ir nedidelis kiekis brušito (1 pav., b).

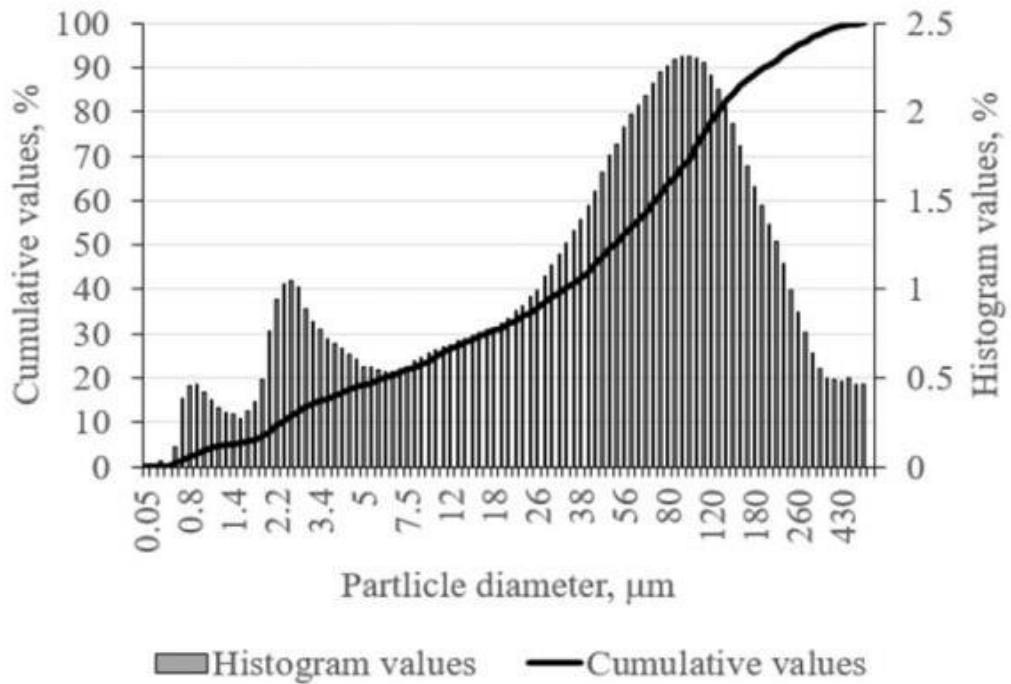


a

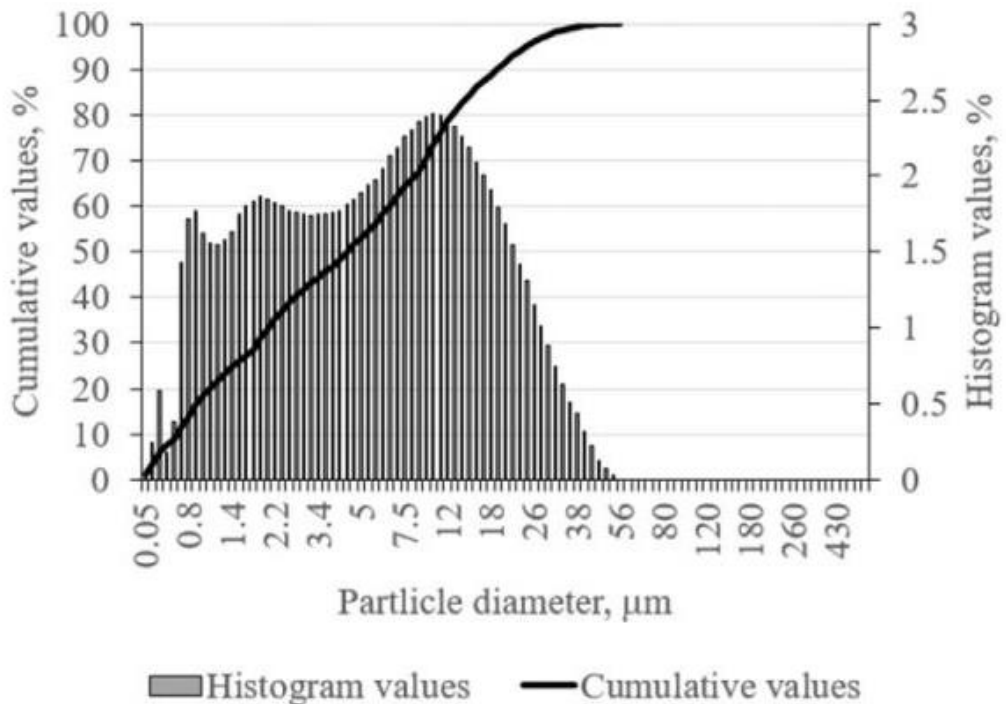


b

1 pav. Šlako (a) ir fosfogipso (b) rentgeno spindulių difrakcijos grafikai. Pastabos: H – hidrotalcitas $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4H_2O$ (14–191), Q - kvarcas SiO_2 (78–2315), CC - kalcitas $CaCO_3$ (72–1651), B - brušitas $CaPO_3 \cdot (OH) \cdot 2H_2O$ (11–293), C - basanitas $CaSO_4 \cdot 0.5H_2O$ (33–310)



a



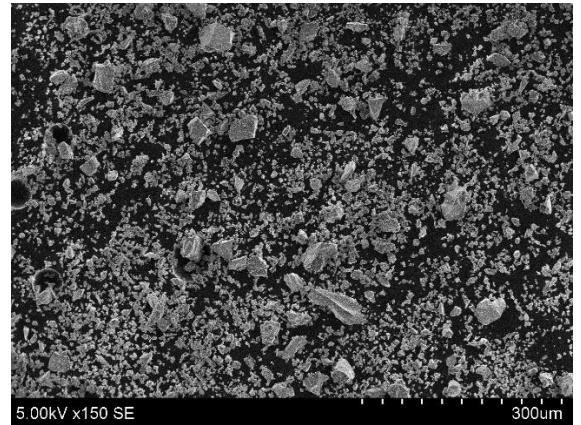
b

2 pav. Šlako (a) ir fosfogipso (b) dalelių dydžio pasiskirstymas

Iš granulimetrinės sudėties tyrimo 2 pav. galime matyti, kad fosfogipsas yra daug smulkesnis už aukštakrosnių šlaką.



a



b

3 pav. Naudoto šlako makro vaizdas (a) ir mikrostrutūra (b)

3 pav., a yra pateikta nuotrauka šlako miltelių ir minėtų miltelių mikrostruktūra (3 pav., b). Remiantis skenuojančios elektroninės mikroskopijos tyrimais galima teigti, kad tokios dalelės dažniausiai yra aštriabriaunės formos,

6.2. Natrio šarmo tirpalas

Natrio šarmo tirpalas naudojamas kaip šarminis aktyvatorius. Šarmu aktyvuoto betono gamyboje kaip aktyvatorius naudojami šarmai arba šarminės druskos. Tai gali būti natrio bei kalio hidroksidai (NaOH ir KOH), natrio karbonatas (NaCO_3), natrio sulfatas (Na_2SO_4). Čia svarbu šarminiai metalai K, Na, Ca, kurie skatina šarminių metalų aliumosilikatinių junginių susidarymą. Svarbu žinoti, kad šarminiai aktyvatoriai gali būti saugūs ir pavojingi. Natrio ir kalio hidroksidai priskiriami prie pavojingų, tačiau jų naudojimas grindžiamas mažesne jų gamybos kaina. Dažniausiai naudojamas aktyvatorius – vandens, natrio hidroksido ir natrio silikato mišinys. Kitų šarminių metalų junginiai ar skirtingų šarmų mišiniai gali būti naudojami kaip šarminės atliekos. Aliumosilikatinei žaliavai reaguojant su šarmu vyksta Si ir Al jonų išsiskyrimas į tirpalą. Šio proceso rezultatas šarmu aktyvuotos medžiagos kiekis ir kokybė priklauso nuo naudojamo šarmo (NaOH) koncentracijos ir gopolimerizacijos proceso trukmės. Atskirų medžiagų maišymas užtrunka ilgiau, todėl sudaro ilgesnį laiko tarpą Al ir Si išsiskyrimui iš lakiųjų pelenų ar kitos žaliavos į šarminį tirpalą.

Šiame darbe naudotas cheminis reagentas natrio hidroksidas (NaOH). Jis yra smulkių granulių pavidalo 4 pav. Jo gamintojas „DeltaChem“ ir dalelių tankis 2,3 g/cm³.

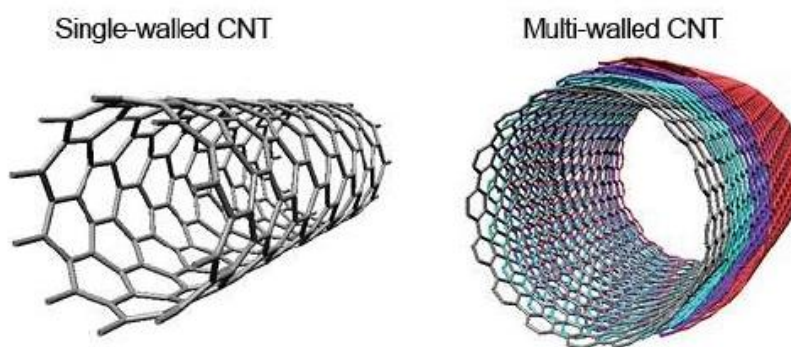


4 pav. Natrio šarmo granulės maišomos su vandeniu, kad gauti natrio šarmo tirpalą

6.3. Anglies nanovamzdeliai

Anglies nanovamzdeliai naudojami kaip armuojantis elementas. Nanovamzdeliai, vamzdiški atomų, dažniausiai anglies, dariniai (makromolekulės), kurių skersmuo iki kelių dešimčių nanometrų, ilgis gali būti daugiau kaip milijoną kartų didesnis už skersmenį. Anglies nanovamzdeliai skirstomi į du tipus 5 pav.:

- Vienasieniai (Single-walled CNT- Carbon NanoTube) sudaryti iš vieno anglies atomų sluoksnio (Skersmuo 1-2 nano metrų).
- Daugiasieniai (Multi – walled CNT – Carbon NanoTube) sudaryti iš kelių vienas kitame esančių vienasienių nano vamzdelių (Skersmuo 2-25 nano metrai). jų vidus gali būti pripildytas nelydžiųjų metalų, karbidų, oksidų.

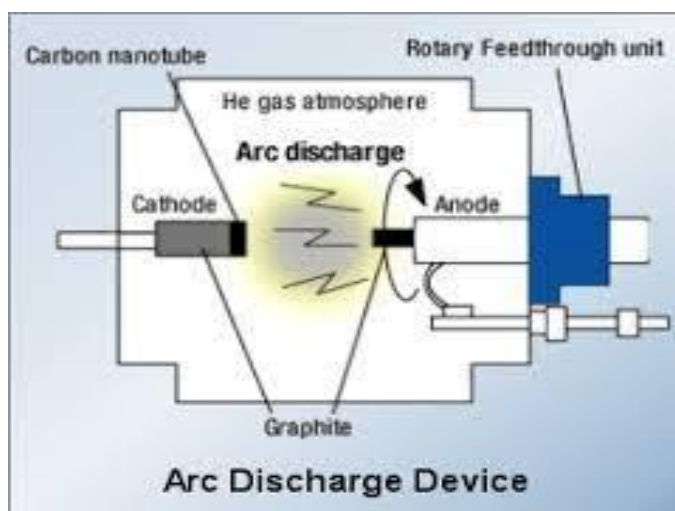


5 pav. Anglies nanovamzdelių tipai

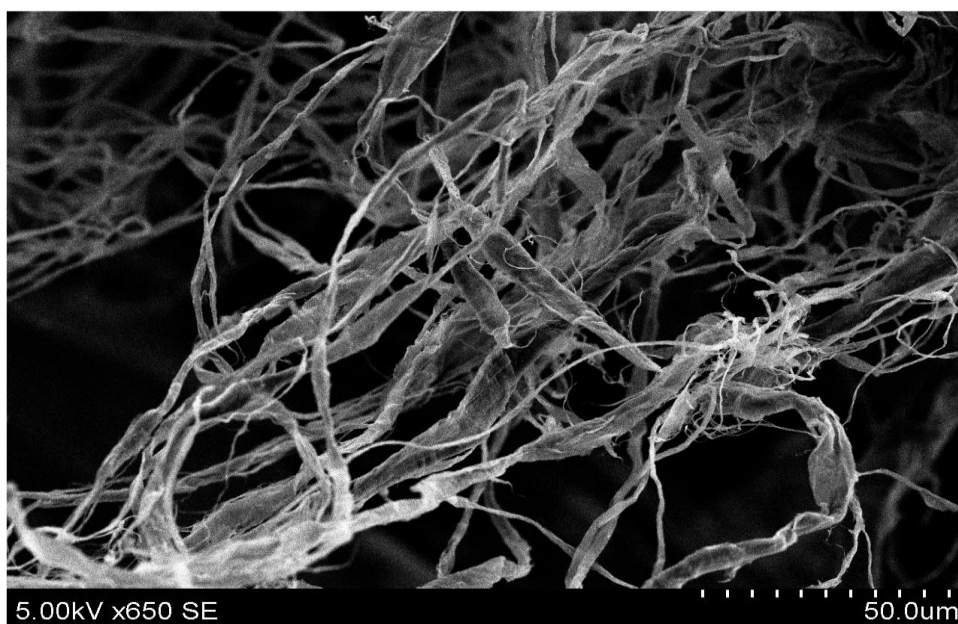
Anglies atomai sudaro heksagoninę gardelę, kuri gali būti įvairiai orientuota nanovamzdelio ašies atžvilgiu ir sudaryti krėslo, zigzago ar spiralės pavidalo struktūrą. Nuo struktūros labai priklauso nanovamzdelių savybės (jie gali turėti puslaidininkio arba metalo savybes).

Anglies nanovamzdelių stipris yra 11...63 Gpa (plieno apie 2 GPa), Jungo modulis $E > 1 \text{TPa}$. Gniuždomi nanovamzdeliai išlinksta nepaprastai dideliu kampu ir nesuyra, o pašalinus apkrovą, atgauna savo pradinę geometrinę formą. Anglies nanovamzdelių tankis yra 1,33 ... 1,4 g/cm³ t.y. du kartus mažesnis, nei aliuminio lydinių.

Anglies nanovamzdeliai gaunami sukūrus elektros išlydį tarp grafitinių elektrodų inertinėje terpėje 6 pav. (Dažniausiai susidaro daugiasieniai vamzdeliai), kai išlydis išgarina anglies atomus. (anglies nanovamzdelis susidaro grafitinio katodo gale). Susidarę nanovamzdeliai dažniausiai būna sukibę į blokus, iš kurių išskiriami ir apdorojus detergentais gryninami naudojant ultragarsą, centrifuguojant, oksiduojant, filtruojant, valant mechaniniais būdais, chromatografijos būdu, deginant 750°C temperatūroje.



6 pav. Anglies nanovamzdelių gaminimo metodas



7 pav. Vienasienių anglies nanovamzdelių mikrostruktūra

Šiame darbe naudoti jau pagaminti vienasieniai anglies nanovamzdeliai 7 ir 8 pav. (Technistro). Grynumas 91%.

8 paveiksle galime matyti tyrime naudotus nanovamzdelius, o 7 paveiksle jau minėtų anglies nanovamzdelių mikrostruktūra. Remiantis skenuojančios elektroninės mikroskopijos tyrimais galima teigti, kad nanovamzdelių ilgis yra daug kartų didesnis už jų skersmenį.



8 pav. Naudoti anglies nanovamzdeliai

6.4. Pūstas grafenas.

Grafenas, „visų grafitinių anglies formų motina“, yra vienas anglies atomų sluoksnis, kurį laiko vienas kitam sutampančių sp^2 hibridinių ryšių pagrindas. Nepaprastos grafeno charakteristikos kyla iš $2p$ orbitalių, kurios sudaro π būsenos juostas, kurios delokalizuoja per anglį, sudarantį grafeną. Dėl to grafenas yra ypač standus, pasižymi labai dideliu šilumos laidumu, neturi nulinės efektyviosios masės, yra nepralaidus dujoms, pasižymi dideliu krūvininkų judrumu, o yra optiškai skaidrus. Visos šios savybės suteikia grafenui lyginamąjį pranašumą, palyginti su panašiomis medžiagomis, kurios buvo naudojamos skirtingose srityse. Todėl tiek pramonei, tiek akademinėi bendruomenei reikia aukštos kokybės grafeno dideliais kiekiais, kad būtų patenkinti dalyvaujančių šalių poreikiai ir medžiaga būtų pritaikyta komercinėms reikmėms. Bandiniuose naudotas pūstas grafenas 9 pav. siekiant pagerinti jų mechanines ir chemines savybes.



9 pav. Naudoto pūsto grafeno nuotrauka

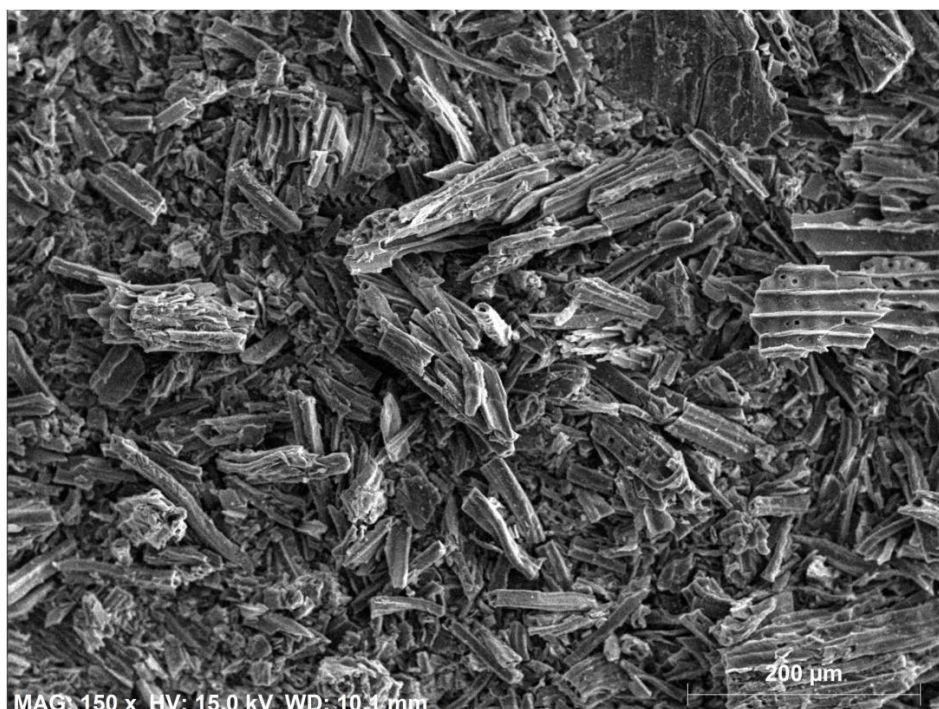
6.5. Pirolizės būdu gautos anglies miltelių priedas

Medienos anglies gavimo procesas, galima būtų pasakyti, labai paprastas:

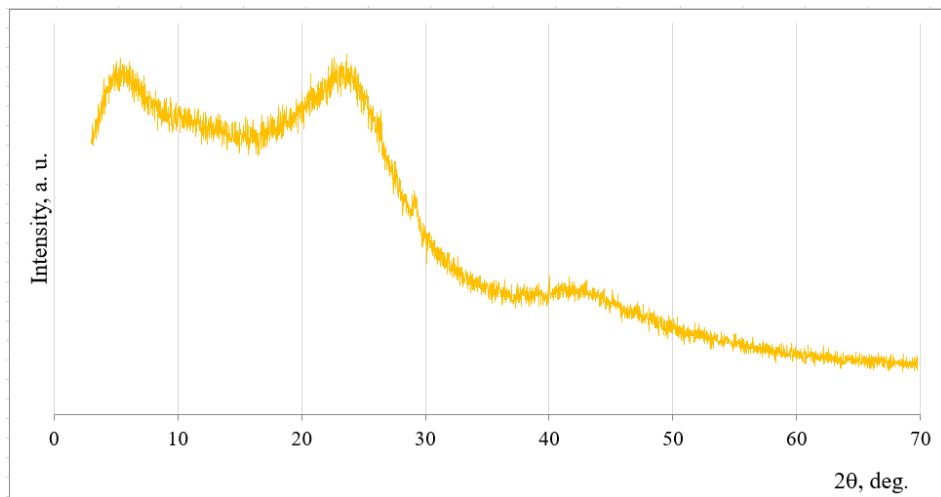
Pirmiausia atrenkama reikiama medienos rūšis, iš kurios norime gaminti anglį (skirtingiems poreikiams, naudojama skirtingos medžio rūšys). Tada paruošiame medieną, jei reikia atrūšiuojama, bei pasmulkinus, sudedama į specialiai deginimui skirtas vonias.

Vonios pakraunamos į deginimo įrenginį, kuriame, pirolizės būdu, 600 laipsnių temperatūroje, mediena apdorojama šešias valandas. (Šio proceso metu išgarinamos visos medienoje esančios biudujos, kurios naudojamos tame pačiame procese temperatūros palaikymui, iškaitinamos visos medienoje esančios rūgštys. Pertekline energija gali būti panaudojama kitiems poreikiams arba tiesiog išleidžiama per kaminą į aplinką). Pasibaigus procesui vonios ištraukiamos iš įrenginio, bei leidžiama natūraliai atvesti, kas užima 6-10 valandų. Tada medienos anglis išpilama į specialius bunkerius, kur jau naudojama pagal klientų poreikius (pakuojama, smulkinama, atskiriamos skirtingu dydžiu daleles, dulkes presuojamas)

Tokiu būdu gauta anglis, smulkiadispersė mikrokristalinė arba amorfinė anglis. Juodos spalvos medžiaga, susidedanti iš pailgos formos 10–350nm dydžio dalelių, kiekviename kurių yra 10^3 – 10^6 kristalitų mikrostruktūra galime matyti 10 pav. Pagal gamybos būdą anglies milteliai skirstomi į difuzinius, arba kanalinius, krosnių, lempinius ir terminius. Taigi anglies panaudojimas cemento skiediniuose padėtų sumažinti aplinkos teršimą ir perdirbi gamyklose gaunamas atliekas jas panaudojant antram gyvenimui. Anglies milteliai buvo dedami į bandinius siekiant pagerinti jų mechanines ir chemines savybes.

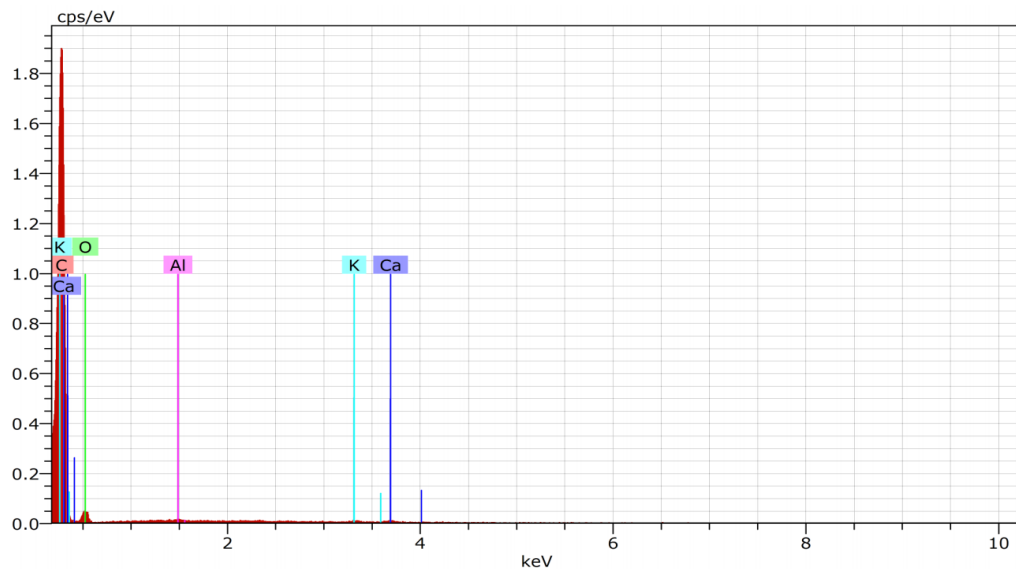


10 pav. Anglies miltelių mikrostruktūra naudojant skenuojančios mikroskopijos tyrimą



11 pav. Anglies miltelių mineralinė sudėtis naudojant retgenografinį tyrimą

Anglies miltelių mineralinė sudėtis buvo nustatyta naudojant XRD tyrimą. Kreivėje negalima identifikuoti nei vienos smailės, todėl galima teigti kad anglies milteliai yra amorfinė medžiaga (11 pav.).



Spectrum: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
Carbon	K-series	71.62	71.62	77.46	29.2
Oxygen	K-series	27.31	27.31	22.18	9.3
Calcium	K-series	0.62	0.62	0.20	0.1
Potassium	K-series	0.35	0.35	0.12	0.0
Aluminium	K-series	0.10	0.10	0.05	0.0
Total:		100.00	100.00	100.00	

12 pav. Anglies elementinės sudėties tyrimas naudojant EDS tyrimą

Iš anglies miltelių EDS tyrimo rezultatų 12 pav. galime matyti, kad šių miltelių didžiąją dalį sudaro anglis ir deguonis su nežymiomis kalcio, kalio ir aliuminio priemaišomis.

7. Anglies nanovamzdelių panaudojimas cementinėse sistemose

Šarmais aktyvuoto šlako cementas, kuris gali būti rišiklis be klinkerio, yra ekologiška alternatyva įprastam portlandcemenčiui. Granuliuotų aukštakrosnių šlakų naudojimas žymiai sumažina anglies dvideginio išmetimą ir energijos sąnaudas lyginant su įprastu portlandcemenčiu.

Aukštakrosnių šlakas yra šalutinis geležies gamybos pramonės produktas. Kadangi šlakas lėtai reaguoja su vandeniu, o hidratuotas šlakas yra silpnas. Taigi, šarmams aktyvinti ir šarmams aktyvuotam šlakui (AAS) formuoti dažniausiai buvo naudojami šarmų aktyvatoriai. AAS gali pasiekti aukštą gniuždymo stiprumą, ypač ankstyvame amžiuje, jei kaip aktyvatorius naudojamas natrio silikato tirpalas (skystas stiklas). Ankstesni tyrimai taip pat pranešė, kad AAS rodo aukštą atsparumą rūgščių ir sulfatų poveikiui, taip pat padidėjusią temperatūrą ar ugnį. Tačiau pagrindinės AAS problemos buvo labai greitai nustatytos ir mikro įtrūkimai dėl susitraukimo deformacijų, dėl kurių sumažėja lenkimo stipris. Norint pašalinti šiuos trūkumus, AAS modifikavimas yra vienas iš efektyviausių metodų.

Šiandien stiprumas, tvirtumas ir ilgaamžiškumas tampa vis svarbesnėmis naujos betono technologijos savybėmis. Didėjant didelio našumo statybinių medžiagų paklausai, matome labai dažną reiškinį: pagerinant cementinių medžiagų mechanines savybes naudojant labai brangius inertinius priedus, ypač nanometrinėje skalėje. Tiesą sakant, per pastaruosius metus nano modifikavimas cementui ir betonui turėjo vis didesnę vaidmenį ir buvo atliekamas sujungiant keletą nanomedžiagų, įskaitant anglies nanovamzdelius (CNT), pūsta grafeną ir anglies miltelius.

Anglies nanovamzdeliai (CNT) buvo sėkmingai pritaikyti cemento pagrindu pagamintoms medžiagoms, siekiant pagerinti jų mechanines savybes, dėka jų puikių fizinių ir cheminių savybių. Nustatyta, kad pridėjus iki 0,5% masės CNT (pagal cemento masę) cemente, lenkimo ir gniuždymo įtempiai padidėjo atitinkamai 25%, 19% ir 27%. Taip pat buvo pranešta apie CNT armavimo mechanizmus cemento matricoje. Šių tyrimų metu buvo manoma, kad plyšių sujungimas ir fizinis užpildymas yra pagrindinis CNT poveikis cemento matricai. Cheminiai cemento matricos modifikavimai per CNT funkcines grupes ir CNT branduolių susidarymo vietas, be abejonės, buvo tvirtinimo mechanizmo dalis.[20]

Panašiai, CNT buvo įvesti į AAS, kad modifikuotų jos trapumą naudojo daugiasienius anglies nanovamzdelius (MWCNT), kad sustiprintų AAS, ir ištyrė kompozito lūžio savybes ir mikrostruktūrą. Jų rezultatai parodė, kad pridėjus 0,05–0,2 % masės MWCNT, padidėjo gniuždymo stipris, elastinis modulis ir efektyvusis atsparumas lūžiams. Ištirta MWCNT įtaką AAS skiedinio savybėms. Jų rezultatai parodė, kad įtraukus MWCNT, galima sutankinti mikrostruktūrą, kartu pastebimai sumažėjus džiovavimo susitraukimui ir vandens absorbcijai, ypač esant 0,1 % masės MWCNT dozei.[20]

Ankstesnių tyrimų metu nebuvo aiškiai atskleistas CNT poveikis AAS kompozitų hidratacijai ir mikrostruktūrai. Visų pirma, apie kompozitų CNT armavimo mechanizmus buvo pranešta mažiau. Todėl šio darbo tikslas yra ištirti CNT įtaką AAS kompozitų reologijai, mechaninėms savybėms, hidratacijai ir mikrostruktūrai.[20]

Tačiau aglomeracijos reiškiniai ir santykinai didelė kaina riboja šio tipo nanodalelių naudojimą kompozicinėse cemento medžiagose.

8. Tyrimo rezultatai

8.1. Disperguotų anglies nanovamzdelių įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms

Iš anksčiau minėtų pradinių medžiagų buvo suformuoti 20 x 20 x 20 mm kubeliai, kad būtų galima ištirti medžiagos mechanines ir fizikines savybes. Bandinių formavimą pradedamas nuo medžiagų svėrimosi ir sumaišant sausas medžiagas prieš įdedant anglies nanovamzdelių jie buvo disperguojami vandenyje arba natrio šarmo tirpale. Tyrime naudotų bandinių sudėtys pateikti lentelėse.

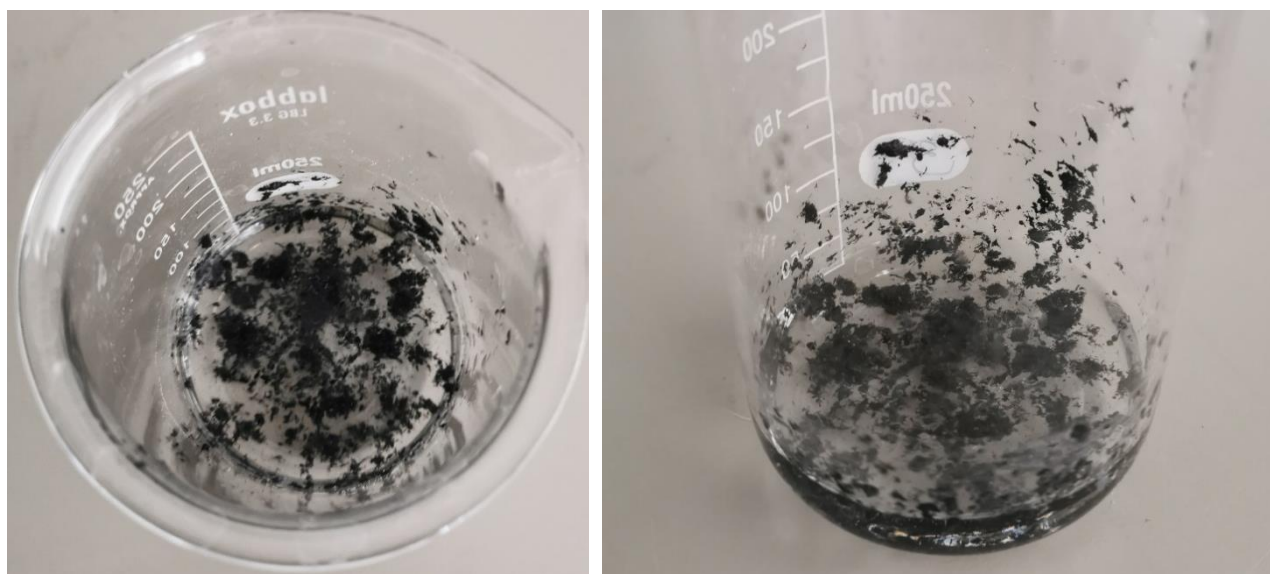
1 lentelė. Disperguoti vandenyje

Bandinio nr.	Šlakas, g.	Fosfogipsas, g.	Natrio šarmas, g.	Vanduo, g.	Anglies nanovamzdeliai, g.
1 (Kontrolinis)	95	5	9,71	30,62	0
2 (0,01 W)	95	5	9,71	30,62	0,01
3 (0,05 W)	95	5	9,71	30,62	0,05
4 (0,10 W)	95	5	9,71	30,62	0,10
5 (0,15 W)	95	5	9,71	30,62	0,15
6 (0,25 W)	95	5	9,71	30,62	0,25

2 lentelė. Disperguoti natrio šarme

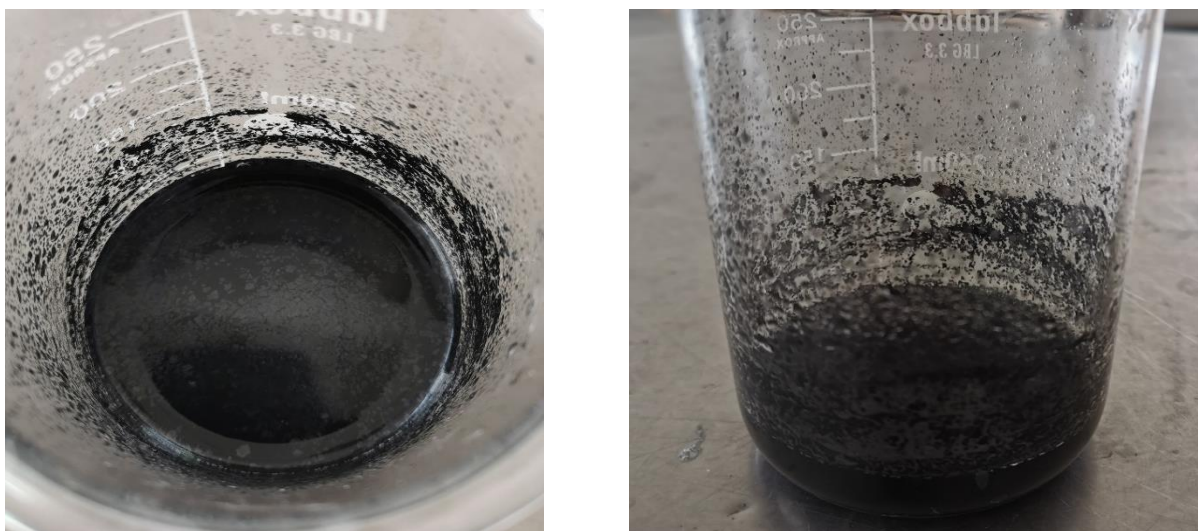
Bandinio nr.	Šlakas, g.	Fosfogipsas, g.	Natrio šarmas, g.	Vanduo, g.	Anglies nanovamzdeliai, g.
1 (0,01 Na)	95	5	9,71	30,62	0,01
2 (0,05 Na)	95	5	9,71	30,62	0,05
3 (0,10 Na)	95	5	9,71	30,62	0,10
4 (0,15 Na)	95	5	9,71	30,62	0,15
5 (0,25 Na)	95	5	9,71	30,62	0,25

Bandinių sudėtys nesiskyrė niekuo tik nanovamzdeliu kiekiu ir nanovamzdelių dispergavimu. Kaip matome 12 pav. prieš disperguojant anglies nanovamzdelius vandenyje jie plūduriuoja ir sušokę gumulais.



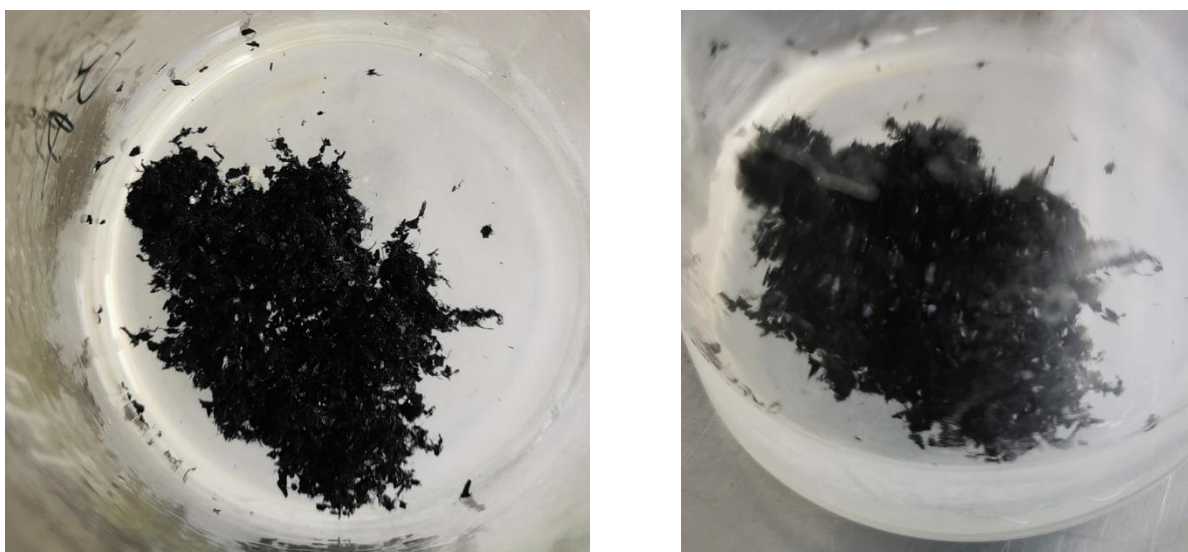
13 pav. Anglies nanovamzdeliai vandenyje prieš dispergavimą ultragarsu

13 pav. galime pastebėti, kad po dispergavimo ultragarsu nanovamzdeliai nėra sušokę gumulais ir atrodo tolygiai susimaišę su vandeniu.



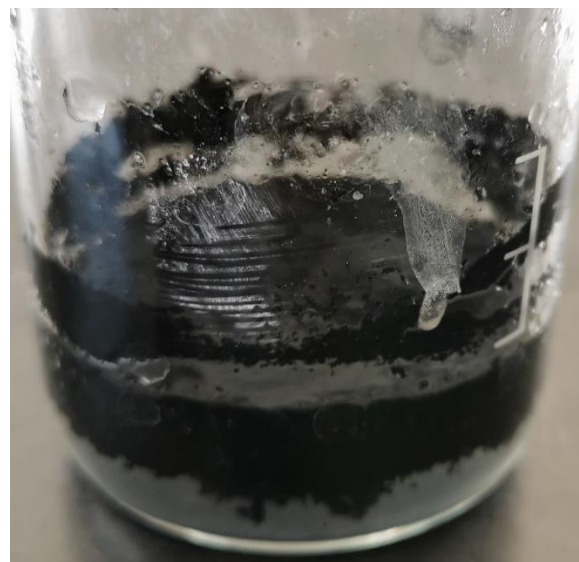
14 pav. Anglies nanovamzdeliai vandenyje po dispergavimą ultragarsu

14 pav. prieš disperguojant anglies nanovamzdelius natrio šarme jie plūduriuoja ir yra sušokę į gumulą.



15 pav. Anglies nanovamzdeliai natrio šarme prieš dispergavimą ultragarsu

15 pav. matome anglies nanovamzdelius po dispergavimo ultragarsu natrio šarme ir atkreipus dėmesį galime pastebėti, kad disperguojant ultragarsu nanovamzdelius natrio šarme gauname ne tokį tolygų mišinį kaip su vandeniu. Matome kad anglies nanovamzdeliai pasklido po šarmo paviršiu, tačiau išsisklaidė matome kaip ir du sluoksnius viršuje anglies nanovamzdeliai apačioje natrio šarmo tirpalas.



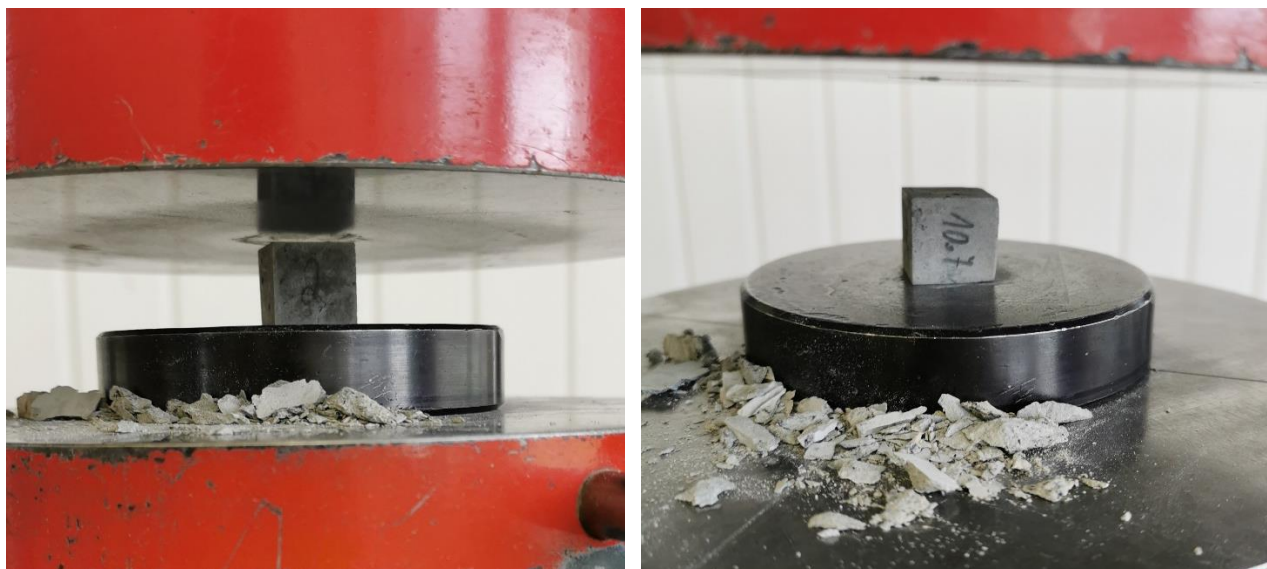
16 pav. Anglies nanovamzdeliai natrio šarme po dispergavimą ultragarsu



17 pav. Gauti bandiniai

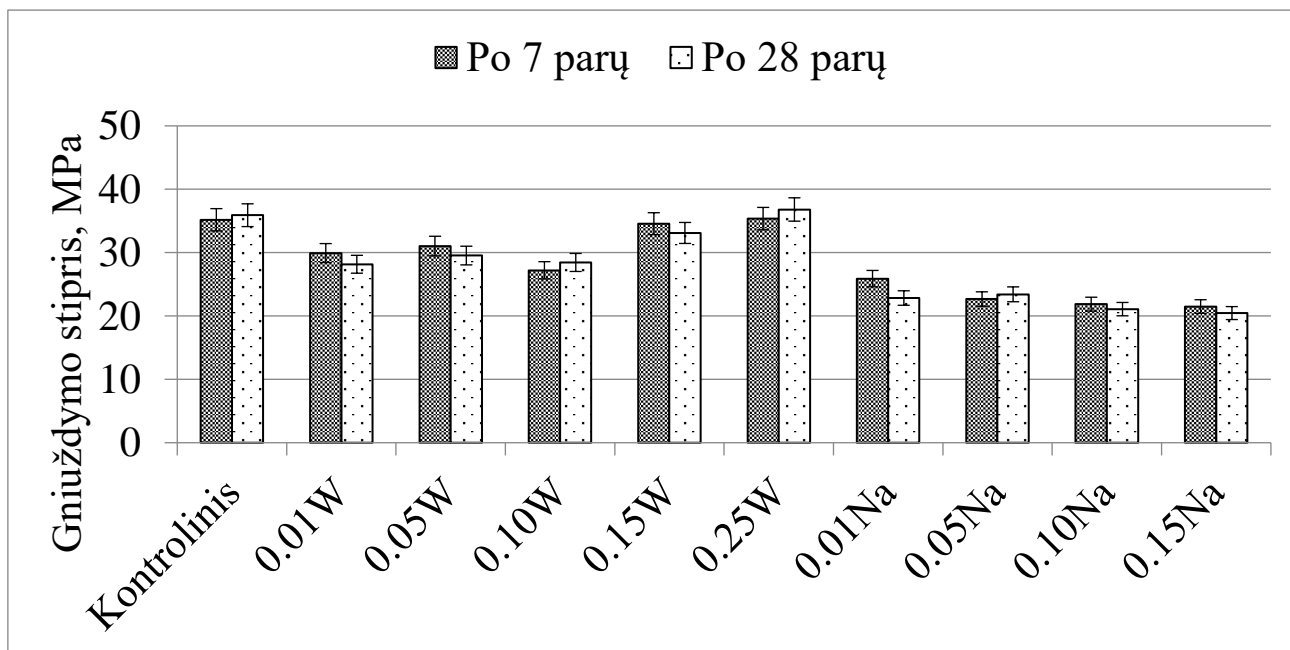
Bandiniai po 1 valandos kietėjimo ore buvo izoliuoti nuo išorinių aplinkos poveikių ir dedami į krosnį kepti 1 parą laiko. Po kurios bandiniai išardomi iš formelių ir toliau izoliuojami iki atliekamų bandymų.

Statybose naudojamoms medžiagoms labai svarbios yra mechaninės savybės todėl laboratorijoje pagamintiems bandiniams buvo nustatytas stipris gniuždant po 7 ir po 28 parų (18 pav.). Gniuždymo bandymas buvo atliekamas presu.



18 pav. Gniuždomi bandiniai

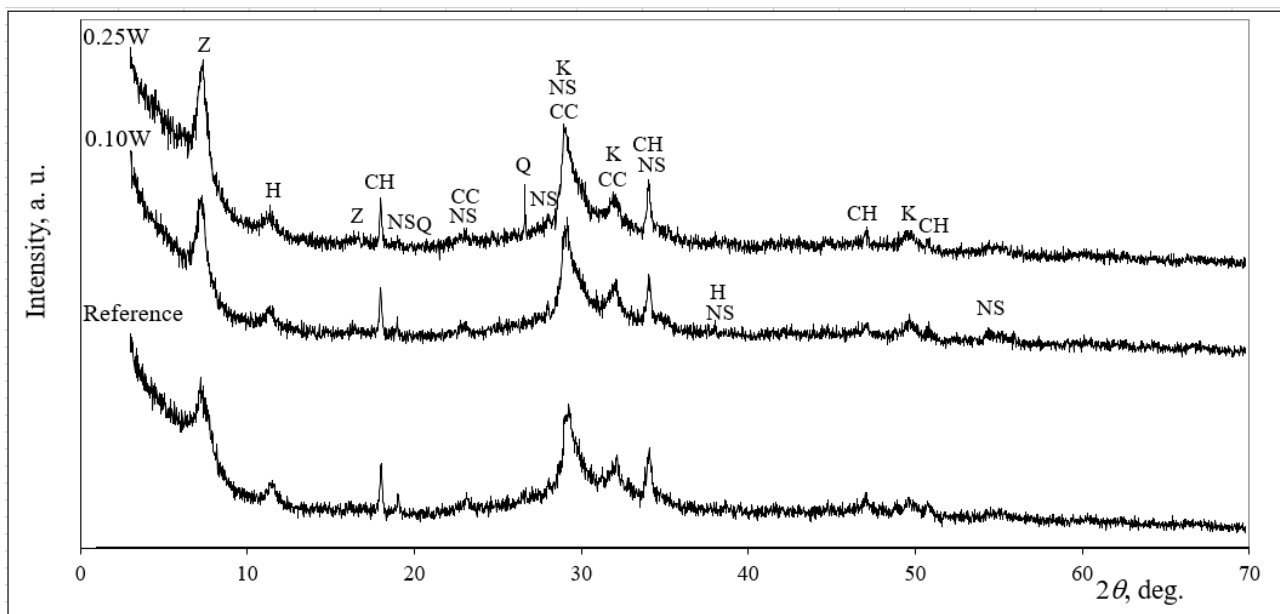
Bandinių stiprio gniuždant reikšmės yra pateiktos 18 paveiksle. Pradžioje anglies nanovamzdeliai buvo disperguoti distiliuotame vandenyje naudojant ultragarsinį dispergavimą. Tokių bandinių žymenys buvo 0.01W, 0.05W, 0.10W, 0.15W, 0.25W (19 Pav.). Po 7 parų hidratacijos buvo nustatytas stipris gniuždant. Jis kito nuo 35 MPa iki 27 MPa. Pailginus kietėjimo trukmę iki 28 parų bandinių stipris gniuždant beveik nepakito.



19 pav. Gniuždymo rezultatai bandinių su nanovamzdeliais po 7 parų ir po 28 parų

Į bandinius įdėjus natrio šarme ultragarsu disperguotus anglies nanovamzdelius buvo pasiektas ženkliai mažesnis stipris gniuždant lyginant su bandiniai kur buvo naudoti anglies nanovamzdeliai disperguoti vandenyje. Panašiai kaip ir prieš tai nagrinėtame atvejuje stipris gniuždant kito neženkiai tiek po 7 tiek ir po 28 parų. Jis svyravo nuo 21 MPa iki 26 MPa. Mažesnės gniuždymo stiprio vertės gali būti susiję su nepakankamu anglies nanovamzdelių ultragarsiniu dispergavimu natrio šarmo tirpale (16 pav.).

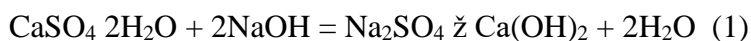
Šarmu aktyvuoto šlako bandinių, kur buvo naudoti anglies nanovamzdeliai disperguoti vandenyje nustatyta mineralinė sudėtis. Rentgenografinės kreivės yra pateiktos 20 paveiksle.



20 pav. Anglies nanovamzdelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako mineralinei sudėčiai (rentgenografinis tyrimas). Žymenys: CH – portlanditas $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (81-2040), CC – kalcitas CaCO_3 (72-1651), Q – kvarcas SiO_2 (78-2315), NS – natrio sulfatas Na_2SO_4 (74-1738), Z – kalcio aliuminio silikato hidratas $\text{Ca}_{5.57}\text{Al}_{12.3}\text{Si}_{12}\text{O}_{49.2}\text{H}_{2.34}$ (76-1507), K – kalcio silikato hidratas $\text{Ca}_{1.5}\text{Si}_{3.5}\text{O}_{3.5}\text{xH}_2\text{O}$ (33-306), H – hidrotalcitas $\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16}4\text{H}_2\text{O}$ (14–191)

Po 28 parų kietėjimo šarminės aktyvacijos metu susiformavo tokie hidratacijos produktai: kalcio silikato hidratas, kalcio aliuminio silikato hidratas, natrio sulfatas ir portlanditas. Dalis junginių tokių kaip kvarcas, kalcitas ir hidrotalcitas liko nesureagavę po 28 parų bandinių mineralinėje sudėtyje. Mineralinė sudėtis buvo analizuota trijų bandinių ir nustatyta, kad visos trys kreivės turi panašias smailes, tačiau skiriasi jų intensyvumai. Taigi, didinant anglies nanovamzdelių kiekį iki 0.25% kalcio silikato hidrato, kalcio aliuminio silikato hidrato smaيليų intensyvumai didėja ir tai tiesiogiai susiję su minėtų junginių kiekiu didėjimu sistemoje. Galima teigti, kad šis didesnis minėtų junginių (kalcio silikato hidrato, kalcio aliuminio silikato hidrato) kiekis susijęs su stiprio gniuždant didėjimu (19 pav. 0,25W bandinys).

Fosfogipso reakcija su šarmu aktyvuoto šlako mišiniu yra pavaizduota žemiau:



Į šarmu aktyvuoto šlako mišinį įdėjus fosfogipso jis reaguoja su natrio šarmu ir susidaro kalcio hidroksidas ir natrio sulfatas (1 reakcijos lygtis). Na_2SO_4 yra veiksmingas geopolimerų arba šarminių aktyvuotų rišiklių hidratacijos aktyvatorius. Reakcijos metu padidėja tirpalo pH, pagreitėja šlako tirpimas ir hidratacija ir susidaro daugiau kalcio aliuminio silikato hidrato ir kalcio silikato hidrato. Tai parodo, kad įtraukus fosfogipą į reakcija buvo modifikuota reakcijos kinetika šarmu suaktyvintų šlakų sistemos, didinant CSH formavimąsi. Taigi, sulfatas gali pagreitinti ir suaktyvinti geopolimerizacijos procesą, apie kurį pranešė kiti tyrėjai [49].

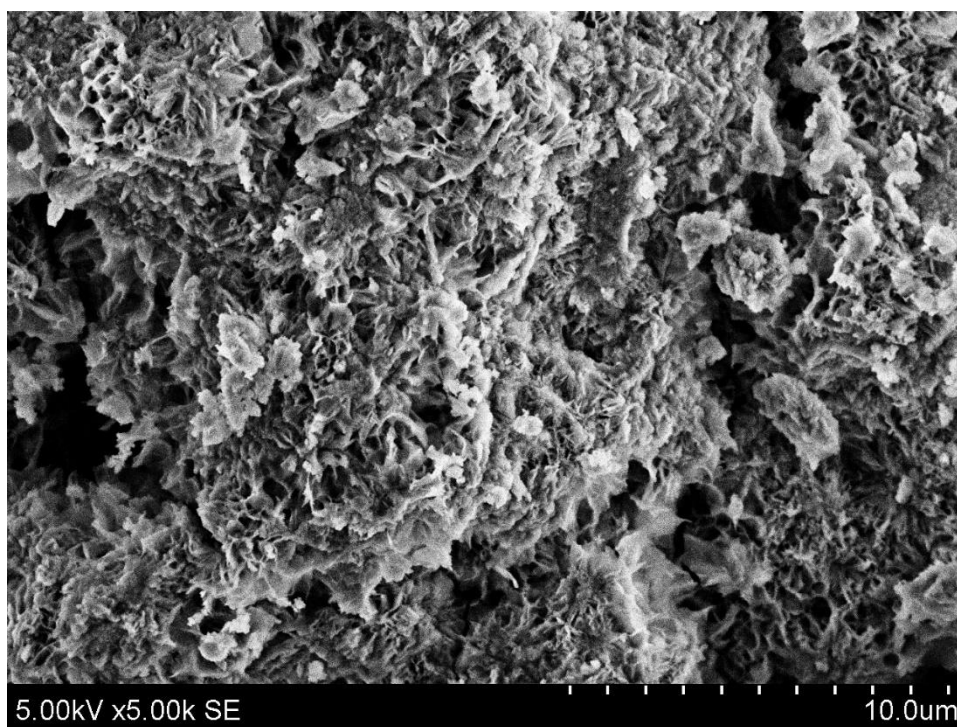
Po 28 parų kietėjimo šarmu aktyvuoto šlako panašios fazės buvo identifikuotos atlikus retgenografinį tyrimą. Bernal ir kt. [46] nustatė, kad šarmu aktyvuoto šlako sistemoje vyravo pusiau kristalinė ir pusiau amorfinė C – S – H tipo struktūra.

Ismail ir kt. [47] teigia, kad šarmu aktyvuoto šlako susikietėjusiame bandinyje mineralinės sudėties pagrindą sudarė vyraujantis C – A – S – H tipo gelis.

Phoo-ngernkham ir kt. [48] šarmu aktyvuoto šlako sistemoje identifikavo kristalinio kalcio silikato hidrato (CSH) susidarymas, kuris egzistavo kartu su amorfiniu geliu.

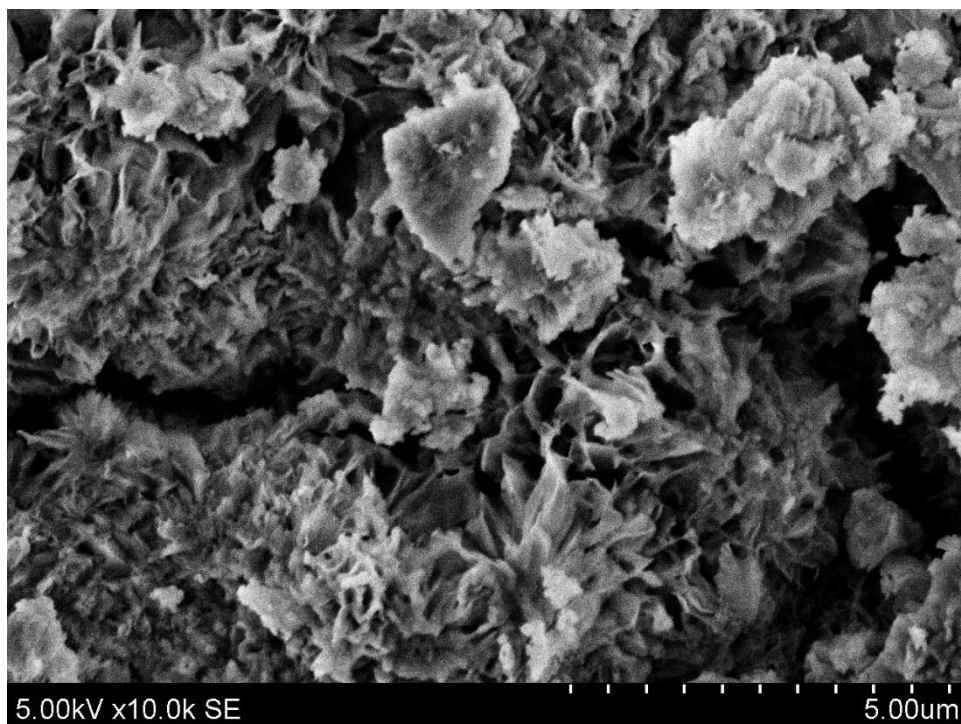
Anglies nanovamzdelių priedo įtaka taip pat turėjo įtakos šarmu aktyvuotų bandinių mikrostruktūrai. Kontrolinio bandinio, t. y. bandinio be anglies nanovamzdelių mikrostruktūra yra pateikta 21 pav.

Pagrindiniai kristalinės hidratacijos produktai, nustatyti kontroliniame bandinyje (nenaudojant anglies nanovamzdelių), buvo kalcio aliuminio silikato hidratas (C-A-S-H) ir kalcio silikato hidratas (C-S-H) (21 pav.). Panašius hidratacijos produktus identifikavo ir kiti tyrėjai [49,50]. SEM nuotraukoje buvo matoma plokštelė ar į plėveles panašus C-S-H, smulkūs C-S-H pluoštų sankaupos ir plokščios C-A-S-H dalelės.

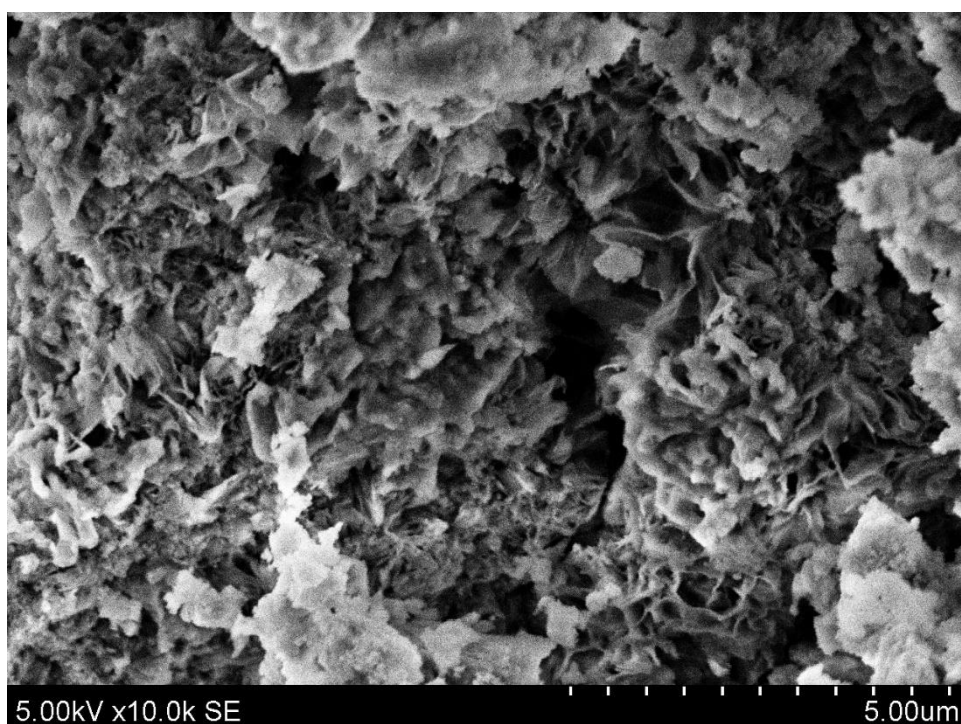


21 pav. Kontrolinio bandinio mikrostruktūra

Šarmu aktyvuoto šlako tešloje yra mikroplyšys, kuris tikėtina atsivėrė dėl džiūvimo susitraukimo.



0,10W

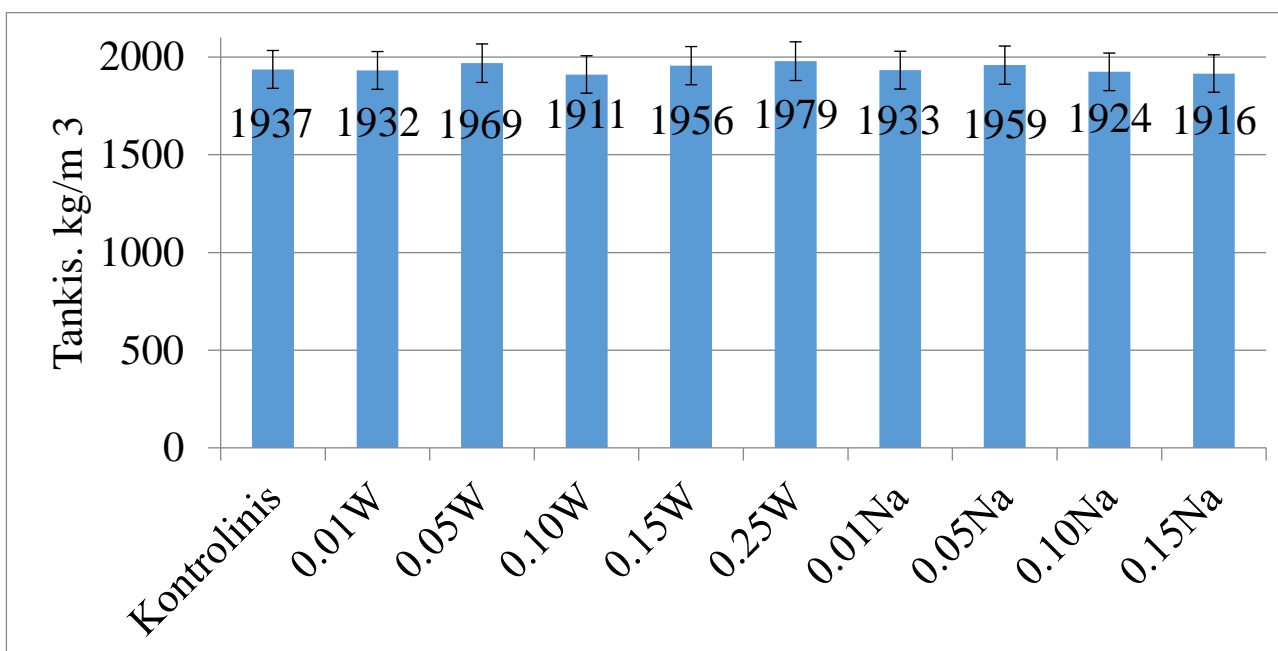


0,25W

22 pav. Anglies nanovamzdelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako mikrostruktūrai

Mikrostruktūroje 0,1W ir 0,25W bandiniuose (22 pav.) susiformavo korio formos C – S – H ir amorfinės gelio struktūros sankaupos [51]. Bandinys su 0,25% anglies nanovamzdeliais turėjo labiau kompaktišką struktūrą lyginant su kontroliniu bandiniu arba su 0,1W. Taigi kompaktiška

mikrostruktūra yra glaudžiai susijusi su padidėjusiu hidratacijos produktų kiekiu, ir didesniu mechaniniu bandinių stiprumu [52].



23 pav. Anglies nanovamzdelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako tankiui

23 pav. pateikti šarmu aktyvuoto šlako bandinių tankiai. Minėtų bandinių tankiai buvo panašių verčių ir tankiai svyruoja tarp 1915 kg/m³ iki 1980 kg/m³

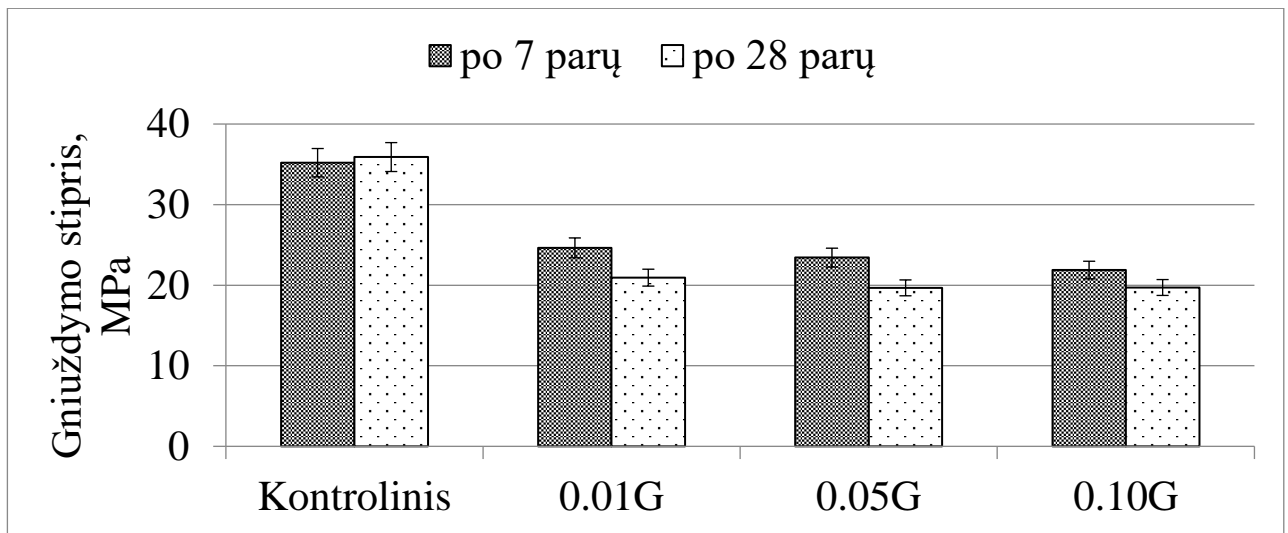
8.2. Grafeno priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms

Bandiniai buvo formuojami analogiškai kaip ir su nanovamzdeliais vienintelis skirtumas buvo tas kad nebuvo daromi bandiniai kur pūstas grafenas būtų disperguojamas natrio šarme, nes buvo pastebėta iš bandymų su nanovamzdeliais, kad disperguojant natrio šarme gaunami prastesni rezultatai.

3 lentelė. Disperguoti vandenyje

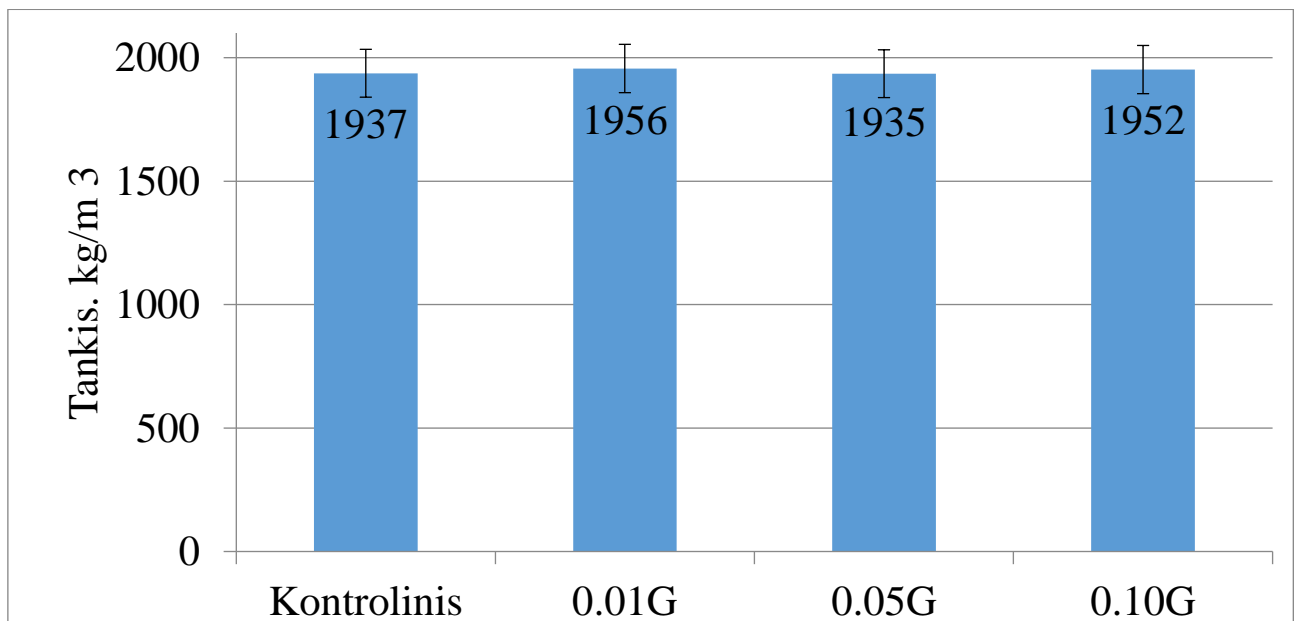
Bandinio nr.	Šlakas, g.	Fosfogipsas, g.	Natrio šarmas, g.	Vanduo, g.	Pūstas grafenas, g.
1 (0,01 G)	95	5	9,71	30,62	0,01
2 (0,05 G)	95	5	9,71	30,62	0,05
3 (0,10 G)	95	5	9,71	30,62	0,10

Bandinių sudėtys pateiktos 3 lentelėje sudėtys skiriasi tik pūsto grafeno kiekiu ir dėl prastėjančių rezultatų bandiniai su didesnėmis koncentracijomis pūsto grafeno nebuvo daromi.



24 pav. Gniuždymo rezultatai bandinių su pūstu grafenu po 7 parų ir po 28 parų

24 pav. pateiktas grafikas kuriame matome gniuždymo rezultatus ir galime pastebėti jog ankstyvasis stiprumas t.y. stipris gniuždant po 7 parų bandiniuose su pūstu grafenu yra didesnis, nei stipris gniuždant po 28 parų. Taip pat matome, kad gniuždymo stipris mažėja didinant pūsto grafeno koncentracija. Tačiau, bet kokių atveju bandinių su pūstu grafenu stipris gniuždant buvo ženkliai mažesnis už kontrolinio bandinio 20.9 MPa ir 35.9 MPa atitinkamai t.y. 41.8% mažesnis stipris gniuždant lyginant su kontroliniu bandiniu.



25 pav. Gauti bandinių su pūstu grafenu tankiai

25 pav. pateikti gautų bandinių tankiai tarp tankių nesimato didelių skirtumų mišinių tankiai svyruoja tarp 1935 kg/m³ iki 1960 kg/m³. Kadangi tankiai žymiai nesiskiria vienas nuo kito negalime daryti prielaidos, kad tankis daro įtaka gniuždymo stipriui.

Dėl grafeno oksido (GO) labai sumažėjo AAS skiedinių takumas ir šiek tiek sumažėjo gniuždymo stipris. Sukietėjusių skiedinių atsparumas lenkimui buvo pagerintas pridėdant GO. Daugiasluoksniai dvigubi hidroksidai (LDH) buvo pastebėti ir patvirtinti GO pridėtoje AAS sistemoje.

Grafeno oksidas (GO) dėl didelio kraštinių santykio ir nepaprasto atsparumo tempimui gali žymiai sumažinti cemento pagrindu pagamintų medžiagų trapumą. Šiame darbe GO nanolakštai buvo sėkmingai susintetinti naudojant modifikuotą Hummerso metodą. Ištirtas GO poveikis šarmais aktyvuotų šlako (AAS) skiedinių takumui, mechaninėms savybėms ir AAS pastų mikrostruktūrai. Nustatyta, kad pridėjus GO labai sumažėjo sukietėjusių skiedinių takumas ir šiek tiek sumažėjo gniuždymo stipris. Tačiau GO pagerino lenkimo stiprumą 20%, po 7 dienų dozė buvo 0,01 masės%. Didelio masto sluoksniuoti dvigubi hidroksidai (LDH) buvo pastebėti naudojant SEM, kurio kompozicijos buvo identifikuojamos ir EDS bei XRD.[53]

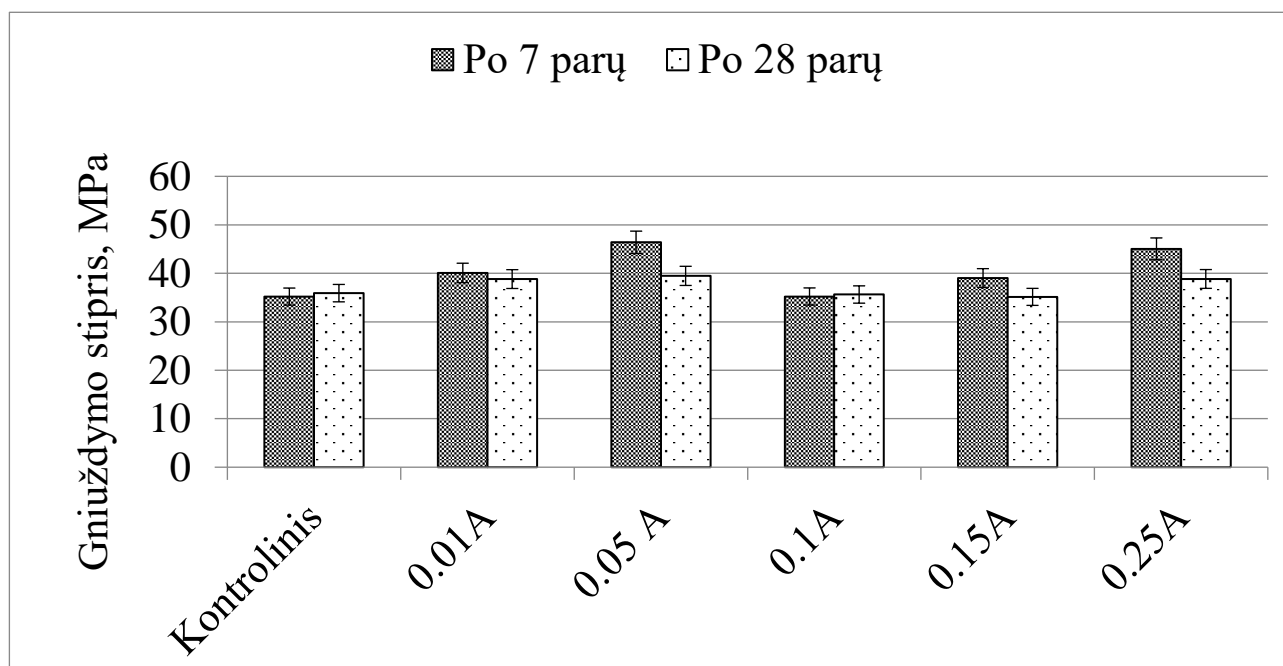
8.3. Anglies miltelių priedo įtaka šarmu aktyvuoto šlako savybėms

Bandiniai su anglies priedu buvo formuojami analogiškai bandiniams su nanovamzdeliais, tačiau pastebejus, kad disperguojant natrio šarme gniuždymo stiprumas žymiai suprastėjo, tai anglies miltelių priedas buvo disperguojamas tik vandenyje.

4 lentelė. Disperguoti vandenyje

Bandinio nr.	Šlakas, g.	Fosfogipsas, g.	Natrio šarmas, g.	Vanduo, g.	Anglies milteliai, g.
1 (0,01 A)	95	5	9,71	30,62	0,01
2 (0,05 A)	95	5	9,71	30,62	0,05
3 (0,10 A)	95	5	9,71	30,62	0,10
4 (0,15 A)	95	5	9,71	30,62	0,15
5 (0,25 A)	95	5	9,71	30,62	0,25

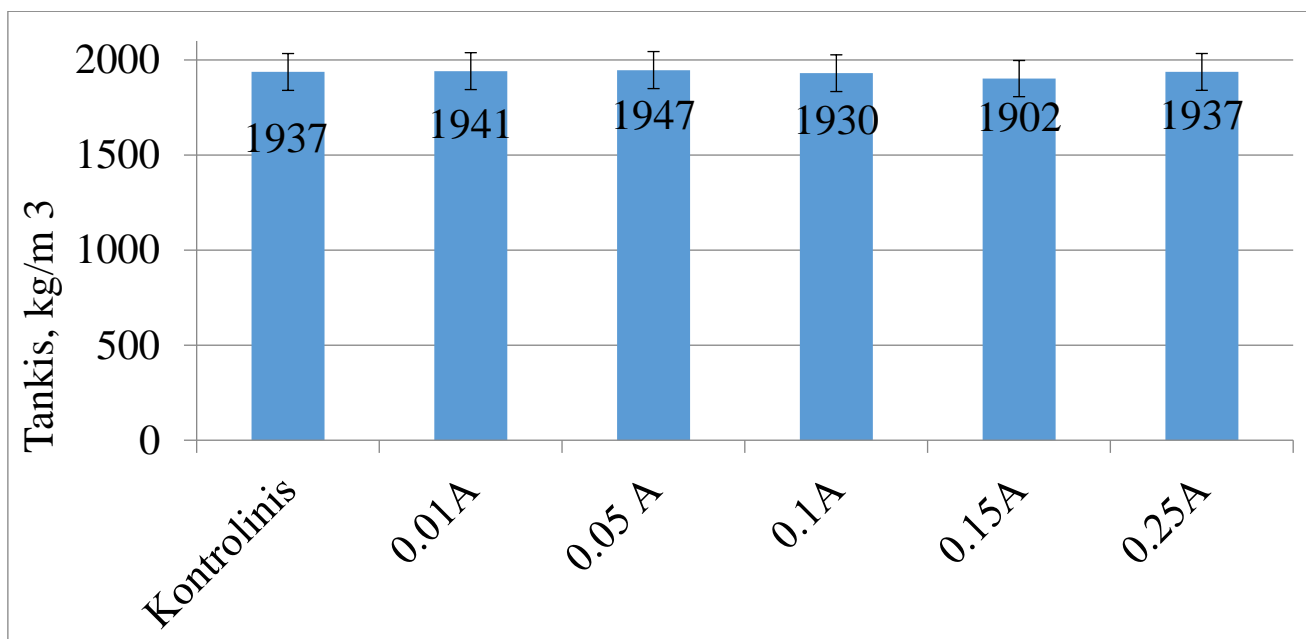
Bandinių sudėtys pateiktos 4 lentelėje sudėtys yra praktiškai vienodos skiriasi tik anglies priedo kiekis mišinyje.



26 pav. Gniuždymo rezultatai bandinių su anglies miltelių priedu po 7 parų ir po 28 parų

Žiūrint į gautus rezultatus pateiktus 26 pav. matome, kad beveik su visomis anglies koncentracijomis buvo gaunamas didesnis stipris gniuždant, nei kontrolinio mišinio. Bandinių su anglimi ankstyvasis

stipris gniuždant tai yra po 7 parų beveik visais atvejais buvo gaunamas ženkliai didesnis nei stipris gniuždant po 28 parų. Tačiau mes vis tiek lyginsime reikšmes gautas po 28 parų, nes tos reikšmės atspindi tikrąjį gniuždymo stiprį. Taigi bandinių su anglies priedu gniuždymo stipris svyruoja tarp 35.1 MPa ir 39.5 MPa. Lyginant su kontroliniu mišiniu stipris gniuždant gaunamas 10% didesnis.



27 pav. Gauti bandinių su anglies miltelių priedu tankiai

27 pav. pateikti gautų bandinių tankiai tarp tankių nesimato didelių skirtumų mišinių tankiai svyruoja tarp 1900 kg/m^3 iki 1950 kg/m^3 . Kadangi tankiai žymiai nesiskiria vienas nuo kito negalime daryti prielaidos, kad tankis daro įtaką gniuždymo stipriui.

Išvados

1. Nustatyta, kad žymiai didesni gniuždymo stipriai buvo gauti, kai nanovamzdeliai ultragarsu buvo disperguojami vandenyje palyginus su dispergavimu natrio šarme. Disperguojant ultragarsu šarmo tirpale nanovamzdeliai sušoko į gumulus ir nepasiskirstė tolygiai po cementinę tešlą ko pasėkoje buvo gautas mažesnis gniuždomasis stiprumas.
2. Kontrolinio bandinio stipris gniuždant 35.9 MPa, bandinio su 0.25% anglies nanovamzdeliu priedu disperguojant vandenyje stipris gniuždant 36.8 MPa tai yra gautas 2.5% didesnis stiprumas gniuždant lyginant su kontroliniu bandiniu.
3. Bandinių su pūstu grafenu stipris gniuždant buvo ženkliai mažesnis už kontrolinio bandinio 20.9 MPa ir 35.9 MPa atitinkamai t.y. 41.8% mažesnis stipris gniuždant lyginant su kontroliniu bandiniu.
4. Bandinių su anglies miltelių priedu gniuždymo stipris svyruoja tarp 35.1 MPa ir 39.5 MPa. Lyginant su kontroliniu mišiniu stipris gniuždant gaunamas 10% didesnis po 28 parų kietėjimo.
5. Tikėtina, kad anglies nanovamzdeliai mišinyje veikia kaip nano-užpildas ir sumažina matricos aktyumą. Atlikus skenuojančios elektroskopijos tyrimą nustatyta, kad šie nanopriedai keičia rišiklių mikrostruktūrą.
6. Geriausi rezultatai buvo gauti naudojant anglies miltelių priedą, kurie yra gaminami iš medienos atliekų ir yra žymiai pigesni, nei kiti šiame darbe naudojami priedai, bet reikalingi detalesni tolimesni tyrimai, kad nustatyti kaip jie veikia cemento matricoje.

Literatūros sąrašas

1. PANCHMATIA, Parth, et al. Monitoring the strength development of alkali-activated materials using an ultrasonic cement analyzer. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [interaktyvus]. 2019, **180**: 538-544 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.070>
2. CHINDAPRASIRT, Prinya; RATTANASAK, Ubolluk. Characterization of porous alkali-activated fly ash composite as a solid absorbent. *International Journal of Greenhouse Gas Control* [interaktyvus]. 2019, **85**: 30-35 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.03.011>
3. MATSUDA, Akira, et al. Reaction, phases, and microstructure of fly ash-based alkali-activated materials. *Journal of Advanced Concrete Technology* [interaktyvus]. 2019, **17.3**: 93-101 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3151/jact.17.93>
4. HUANG, Kang, et al. Use of municipal solid waste incinerator (MSWI) fly ash in alkali activated slag cement. In: *Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2019*. Springer, Cham [interaktyvus]. 2019. p. 401-410 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: https://doi.org/10.1007/978-3-030-05749-7_40
5. MATALKAH, Faris, et al. Drying shrinkage of alkali activated binders cured at room temperature. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2019, **201**: 563-570 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.223>
6. KOENIG, Andreas, et al. Flexural behaviour of steel and macro-PP fibre reinforced concretes based on alkali-activated binders. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2019, **211**: 583-593 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.227>
7. NATH, S. K.; KUMAR, Sanjay. Influence of granulated silico-manganese slag on compressive strength and microstructure of ambient cured alkali-activated fly ash binder. *Waste and Biomass Valorization* [interaktyvus]. 2019, **10.7**: 2045-2055 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0213-1>
8. PHOO-NGERNKHAM, Tanakorn, et al. Adhesion characterisation of Portland cement concrete and alkali-activated binders. *Advances in Cement Research* [interaktyvus]. 2019, **31.2**: 69-79 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1680/jadcr.17.00122>
9. HUMAD, Abeer M.; HABERMEHL-CWIRZEN, Karin; CWIRZEN, Andrzej. Effects of fineness and chemical composition of blast furnace slag on properties of alkali-activated binder. *Materials* [interaktyvus]. 2019, **12.20**: 34-47 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/ma12203447>
10. RIVERA, O. G., et al. Effect of elevated temperature on alkali-activated geopolymeric binders compared to portland cement-based binders. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus]. 2016, **90**: 43-51 [žiūrėta 2019-10-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.09.013>
11. GOMAA, Eslam, et al. Bond strength of eco-friendly class C fly ash-based thermally cured alkali-activated concrete to portland cement concrete. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2019, **235**: 404-416 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.268>
12. XIE, Yudong, et al. Comparison of corrosion resistance mechanism between ordinary Portland concrete and alkali-activated concrete subjected to biogenic sulfuric acid attack. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2019, **228**: 117-171 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117071>

13. BOCULLO, Vytautas, et al. Effect of Ordinary Portland Cement and Water Glass on the Properties of Alkali Activated Fly Ash Concrete. *Minerals* [interaktyvus]. 2020, **10.1**: 40 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/min10010040>
14. ABDEL-GAWWAD, Hamdy A.; RASHAD, Alaa M.; HEIKAL, Mohamed. Sustainable utilization of pretreated concrete waste in the production of one-part alkali-activated cement. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2019, **232**: 318-328 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.356>
15. WANG, Junxiang, et al. Influence of the combination of calcium oxide and sodium carbonate on the hydration reactivity of alkali-activated slag binders. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2018, **171**: 622-629 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.077>
16. SUN, Zengqing; LIN, Xiaochen; VOLLPRACHT, Anya. Pervious concrete made of alkali activated slag and geopolymers. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2018, **189**: 797-803 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.067>
17. THOMAS, R. J., et al. Micromechanical properties of alkali-activated slag cement binders. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. 2018, **90**: 241-256 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.04.003>
18. SUN, Zengqing, et al. Study of alkali activated slag as alternative pavement binder. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2018, **186**: 626-634 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.154>
19. AKÇAÖZOĞLU, Kubilay; AKÇAÖZOĞLU, Semiha; AÇIKGÖZ, Abdullah. Investigation of hydration temperature of alkali activated slag based concrete. *KSCE Journal of Civil Engineering* [interaktyvus]. 2018, **22.8**: 2994-3002 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0219-4>
20. CUI, Hongzhi, et al. Effect of carbon nanotubes on properties of alkali activated slag—A mechanistic study. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2020, **245**: 119-121 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119021>
21. SASNAUSKAS, V. Alkali Activated Cement Composites with Carbon Nanotubes. *Advanced Construction*. 2015, **19(3)**, 324-331. ISSN 2538-8983.
22. SAAFI, Mohamed, et al. Multifunctional properties of carbon nanotube/fly ash geopolymeric nanocomposites. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2013, **49**: 46-55 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.007>
23. ABBASI, Saloumeh Mesgari, et al. Microstructure and mechanical properties of a metakaolinite-based geopolymer nanocomposite reinforced with carbon nanotubes. *Ceramics International* [interaktyvus]. 2016, **42.14**: 15171-15176 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.06.080>
24. ROVNANÍK, Pavel, et al. Effect of carbon nanotubes on the mechanical fracture properties of fly ash geopolymer. *Procedia Engineering* [interaktyvus]. 2016, **151**: 321-328 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://cyberleninka.org/article/n/680638.pdf>
25. PAYAKANITI, Panjasil, et al. Electrical conductivity and compressive strength of carbon fiber reinforced fly ash geopolymeric composites. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2017, **135**: 164-176 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.198>

26. KHATER, H. M.; ABD EL GAWAAD, H. A. Characterization of alkali activated geopolymer mortar doped with MWCNT. *Construction and building materials* [interaktyvus]. 2016, **102**: 329-337 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.121>
27. CHAIPANICH, Arnon; RIANYOI, Rattiyakorn; NOCHAIYA, Thanongsak. The effect of carbon nanotubes and silica fume on compressive strength and flexural strength of cement mortars. *Materials Today: Proceedings* [interaktyvus]. 2017, **4.5**: 6065-6071 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.095>
28. VAIČIUKYNIENĖ, D., et al. Effect of phosphogypsum on the stability upon firing treatment of alkali-activated slag. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2018, **184**: 485-491 [žiūrėta 2020-02-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.213>
29. GUPTA, Souradeep, et al. Application of biochar from coconut and wood waste to reduce shrinkage and improve physical properties of silica fume-cement mortar. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, **262**: 120688 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120688>
30. GUPTA, Souradeep; KUA, Harn Wei; KOH, Hui Jun. Application of biochar from food and wood waste as green admixture for cement mortar. *Science of the total environment* [interaktyvus]. 2018, **619**: 419-435 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.044>
31. GUPTA, Souradeep; MUTHUKRISHNAN, Shravan; KUA, Harn Wei. Comparing influence of inert biochar and silica rich biochar on cement mortar–Hydration kinetics and durability under chloride and sulfate environment. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, 121142 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121142>
32. WANG, Lei, et al. Biochar as green additives in cement-based composites with carbon dioxide curing. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2020, **258**: 120678 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120678>
33. GUPTA, Souradeep; KUA, Harn Wei. Carbonaceous micro-filler for cement: Effect of particle size and dosage of biochar on fresh and hardened properties of cement mortar. *Science of The Total Environment* [interaktyvus]. 2019, **662**: 952-962 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.269>
34. TAN, Kanghao, et al. Properties of cement mortar containing pulverized biochar pyrolyzed at different temperatures. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, **263**: 120616 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120616>
35. DIXIT, Anjaneya, et al. Waste Valorisation using biochar for cement replacement and internal curing in ultra-high performance concrete. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2019, **238**: 117876 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117876>
36. MO, Liwu, et al. Combined effects of biochar and MgO expansive additive on the autogenous shrinkage, internal relative humidity and compressive strength of cement pastes. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2019, **229**: 116877 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116877>
37. GUPTA, Souradeep; KUA, Harn Wei; LOW, Chin Yang. Use of biochar as carbon sequestering additive in cement mortar. *Cement and concrete composites* [interaktyvus]. 2018, **87**: 110-129 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.12.009>

38. SUAREZ-RIERA, D.; RESTUCCIA, L.; FERRO, G. A. The use of Biochar to reduce the carbon footprint of cement-based materials. *Procedia Structural Integrity* [interaktyvus]. 2020, **26**: 199-210 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.06.023>
39. AKINYEMI, Banjo A.; ADESINA, Adeyemi. Recent advancements in the use of biochar for cementitious applications: A review. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2020, 101705 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101705>
40. GUPTA, Souradeep; KUA, Harn Wei; DAI PANG, Sze. Biochar-mortar composite: Manufacturing, evaluation of physical properties and economic viability. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2018, **167**: 874-889 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.104>
41. HO, Van Dac, et al. Influence of pristine graphene particle sizes on physicochemical, microstructural and mechanical properties of Portland cement mortars. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, **264**: 120188 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120188>
42. CHUAH, Samuel, et al. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2014, **73**: 113-124 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.040>
43. LI, Xiangyu, et al. Incorporation of graphene oxide and silica fume into cement paste: A study of dispersion and compressive strength. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2016, **123**: 327-335 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.022>
44. HO, Van Dac, et al. Electrochemically produced graphene with ultra large particles enhances mechanical properties of Portland cement mortar. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2020, **234**: 117403 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117403>
45. BAI, Shuya, et al. Enhancement of mechanical and electrical properties of graphene/cement composite due to improved dispersion of graphene by addition of silica fume. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2018, **164**: 433-441 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.176>
46. BERNAL, Susan A., et al. High-resolution X-ray diffraction and fluorescence microscopy characterization of alkali-activated slag-metakaolin binders. *Journal of the american ceramic society* [interaktyvus]. 2013, **96.6**: 1951-1957 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1111/jace.12247>
47. ISMAIL, Idawati, et al. Modification of phase evolution in alkali-activated blast furnace slag by the incorporation of fly ash. *Cement and Concrete Composites* [interaktyvus]. 2014, **45**: 125-135 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.006>
48. PHOO-NGERNKHAM, Tanakorn, et al. Effects of sodium hydroxide and sodium silicate solutions on compressive and shear bond strengths of FA-GBFS geopolymer. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2015, **91**: 1-8 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.001>
49. JIA, Zijian, et al. Hydration products, internal relative humidity and drying shrinkage of alkali activated slag mortar with expansion agents. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2018, **158**: 198-207 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.162>

50. HAHN, M. Ben, et al. Influence of activator type on hydration kinetics, hydrate assemblage and microstructural development of alkali activated blast-furnace slags. *Cement and Concrete Research* [interaktyvus]. 2011, **41.3**: 301-310 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.11.016>
51. KARIM, Md Rezaul, et al. Effects of source materials, fineness and curing methods on the strength development of alkali-activated binder. *Journal of Building Engineering* [interaktyvus]. 2020, **29**: 101147 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101147>
52. GHOLAMPOUR, Aliakbar; HO, Van Dac; OZBAKKALOGLU, Togay. Ambient-cured geopolymer mortars prepared with waste-based sands: mechanical and durability-related properties and microstructure. *Composites Part B: Engineering* [interaktyvus]. 2019, **160**: 519-534 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.057>
53. ZHU, Xiao Hong, et al. Effect of graphene oxide on the mechanical properties and the formation of layered double hydroxides (LDHs) in alkali-activated slag cement. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. 2017, **132**: 290-295 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.059>
54. RESTUCCIA, Luciana; FERRO, Giuseppe Andrea. Promising low cost carbon-based materials to improve strength and toughness in cement composites. *Construction and building materials* [interaktyvus]. 2016, **126**: 1034-1043 [žiūrėta 2020-12-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.101>